

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 geoekosystemów Polski w 2014 roku
na podstawie badań
Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Biała Góra 2015

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	3
2. Zlewnie badawcze ZMŚP	6
3. Zlewnie badawcze ZMŚP a program Natura 2000	10
4. System pomiarowy Stacji Bazowych ZMŚP	15
5. Zakres wykonanych programów pomiarowych przez Stacje Bazowe ZMŚP	21
6. Wybrane geowskaźniki ilościowe obiegu wody w geoeekosystemach ZMŚP	30
7. Wybrane geowskaźniki jakościowe obiegu wody w geoeekosystemach ZMŚP	43
8. Wskaźniki fizykochemiczne jakości wód powierzchniowych i podziemnych	67
9. Stan bioindykacji w odniesieniu do warunków wodnych	73
10. Ocena stanu geoeekosystemów Polski w roku 2014 na tle lat 1994-2013	78
11. Literatura	84

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z umową 35/2012/F z dnia 19.09.2012 roku. Umowa zawarta pomiędzy Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu dotyczy „Realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2012-2014”. Przedstawiona praca dotyczy 6. etapu umowy – „Opracowanie corocznych sprawozdań stanu geoekosystemów Polski”. W opracowaniu przedstawiono stan geoekosystemów Polski w 2014 roku, z uwzględnieniem danych wieloletnich z okresu 1994-2013. Podstawę opracowania stanowiły merytoryczne raporty dotyczące funkcjonowania w 2014 roku geoekosystemów reprezentatywnych dla wybranych stref krajobrazowych Polski. Program badawczo-pomiarowy w 2014 roku realizowano w dziewięciu Stacjach Bazowych ZMŚP. Merytoryczne przedstawienie stanu środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach ZMŚP przedstawiono w raportach Stacji za 2014 rok (Bochenek i in. 2015, Józwiak i in. 2015, Kejna i in. 2015, Kostrzewski i in. 2015, Krzysztofiak i in. 2015, Olszewski i in. 2015, Samołyk i in. 2015, Skotak i in. 2015, Stachyra i in. 2015). W pracy wykorzystano także dane monitoringowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata 1994-2014.

Przedmiotem badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego są geoekosystemy tworzące przestrzeń przyrodniczą: atmosferę, hydrosferę, pedosferę, litosferę, biosferę, i antroposferę. Kompleksowe ujęcie przepływu energii i obiegu materii umożliwia przyjęcie zlewni rzecznej lub jeziornej jako podstawowej jednostki przestrzennej w badaniach przyrodniczych (Kostrzewski 1993). 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 ilościowych i jakościowych aspektów obiegu wody przedstawiono za pomocą geoindykatorów (Szpikowski 2011, 2012; Tylkowski 2013, 2014).

Głównym celem opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie oraz tendencjach rozwoju wybranych geoekosystemów Polski w 2014 roku na tle ostatniego dwudziestolecia. W raportach 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. Zgromadzone dane stanowią również podstawę do określenia tendencji rozwoju geoekosystemów i formułowania prognoz krótko- i długoterminowych. Prowadzony w wytypowanych zlewniach reprezentatywnych monitoring naukowo-badawczy dotyczył dwóch aspektów:

- monitoringu 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:
 - ✓ profilu pionowego atmosfera – roślinność – profil glebowy – wody podziemne-wody powierzchniowe,
 - ✓ zlewni rzecznej lub zlewni jeziornej – atmosferyczna dostawa i fluwialne odprowadzanie wody i substancji rozpuszczonych.
- bioindykacji wybranych elementów przyrody ożywionej, które są czułe na zmiany bilansu energii, biogenów i elementów toksycznych, np. porosty.

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.

Uzyskane dotychczas w ramach ZMŚP wyniki mogą stanowić podstawę sporządzenia prognozy, która dostarczy zasób informacji niezbędnych do ewentualnego wprowadzenia 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. Zdecydowana większość Stacji Bazowych ZMŚP (7 Stacji) położona jest w granicach obszarów wchodzących w skład sieci NATURA 2000.

W ramach założeń metodologicznych i metodycznych ZMŚP sporządzano coroczne syntezy o stanie geoekosystemów Polski (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, Major 2007, 2008, Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013, 2014). Wykonywane od 2003 roku kompleksowe opracowania o stanie środowiska przyrodniczego stanowiły postęp w

stosunku do pierwszych zestawień ZMŚP (od 1997 do 2002 roku), które głównie komentowały wyniki uzyskane przez Stacje Bazowe w ramach realizacji poszczególnych programów badawczych a nie ukazywały związków przyczynowo-skutkowych (Zwoliński 1997, Kolander 1999, Kruszyk 2003, Mazurek, Zwoliński 2000, 2001, 2002).

Syntetyczne opracowania o stanie geoekosystemów Polski zawierają informacje o aktualnym stanie, trendach i zagrożeniach rozwoju środowiska geograficznego. Przedstawiony poniżej raport za 2014 rok, podobnie jak syntezy za lata 2011, 2012 i 2013 został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki ilościowe i jakościowe obiegu wody wdrożone przez Szpikowskiego (2011, 2012). Ponadto wskazano trendy zmian w środowisku przyrodniczym zlewni ze wskazaniem zdarzeń ekstremalnych w 2014 roku oraz stan środowiska przyrodniczego w nawiązaniu do wybranych parametrów chemicznych, np. uwzględnionych w Ramowej Dyrektywie Wodnej.

Aktualny zasób informacji ZMŚP stwarza możliwości wykorzystania danych ilościowych i jakościowych o stanie środowiska i prognozach jego rozwoju. Centralna Baza Danych ZMŚP zawiera ponad 1 mln rekordów rzeczywistych danych środowiskowych z okresu 1994-2014. Niestety ze względu na krótkie serie pomiarowe pochodzące z niektórych Stacji Bazowych ZMŚP (np. Biała Góra 6 lat, Roztocze 3 lata) nie wszystkie dane mogą być w pełni wykorzystane i interpretowane pod względem istotnych statystycznie trendów, tendencji zmian środowiska przyrodniczego. Także zbyt krótkie serie pomiarowe niektórych programów (np. otrzymywanych z monitoringu biotycznego: wielkość i stan plech porostów, metale i siarka w porostach, fauna epigeiczna czy stan zdrowotności drzewostanów) nie pozwalają na wieloletnią analizę statystyczną trendów i prawidłowości zmienności czasowo-przestrzennej. Niemniej dane monitoringu abiotycznego i biotycznego są istotne dla realizacji głównych założeń metodycznych programu ZMŚP, gdyż pozwalają na wprowadzanie i stosowanie tzw. „geoindykatorów” w zakresie zdefiniowania wskaźników jakości środowiska.

2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP

Podstawowym obiektem badań w sieci Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego jest reprezentatywna zlewnia rzeczna lub jeziorna, gdzie zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze i stanowiska pomiarowe. Szeroki zakres komplementarnych badań stacjonarnych prowadzony jest wg standaryzowanych metod w 2014 roku na 9 Stacjach ZMŚP (ryc. 1, tab. 1). W funkcjonującej obecnie rozmieszczeniu przestrzennym Stacji Bazowych ZMŚP można wyróżnić transekt południkowy, który nawiązuje do równoleżnikowego układu głównych stref krajobrazowych Polski: strefa młodoglacjalna Nizżu Polskiego - Biała Góra, Storkowo, Konieczynka, Puszcza Borecka, Wigry, strefa staroglacjalna Nizżu Polskiego – Kampinos, strefa wyżynna – Roztocze, Święty Krzyż i górską - Szymbark. W strefie młodoglacjalnej Nizżu Polskiego można wyznaczyć transekt równoleżnikowy, przebiegający przez Stacje: Biała Góra, Storkowo, Konieczynka, Puszcza Borecka, Wigry.



BIAŁA GÓRA - 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. 1. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2013 roku, (Kondracki 2000, zmienione)

Tab. 1 Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych ZMŚP w 2014 roku

Zlewnia	Powierzchnia [km ²]	Zlewnia/Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Jez. Gardno	2,6	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 Ciężkowickie Doły Jasielsko-Sanockie	Beskidy Środkowe/ Pogórze Środkowobeskidzkie

W strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego położonych jest najwięcej zlewni badawczych ZMŚP:

- - Jezioro Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra),
- - górna Parsęta (Stacja Bazowa Storkowo),
- - Jezioro Łękek (Stacja Bazowa Puszcza Borecka),
- - Czarna Hańcza (Stacja Bazowa Wigry),
- - Struga Toruńska (Stacja Bazowa Koniczynka).

Pierwsze cztery zlewnie są w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie. Natomiast zlewnia Strugi Toruńskiej jest przekształcona przez antropopresję, związaną głównie z działalnością rolnictwa i melioracjami.

Zlewnia Jeziora Gardno położona jest na wyspie Wolin, na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego i reprezentuje geoekosystem nadmorski. O indywidualności badanej zlewni decyduje jej nadmorskie położenie w bezpośrednim sąsiedztwie najwyższego wybrzeża klifowego w Polsce, bezodpływowość powierzchniowa oraz pełne zalesienie - głównie drzewostanem bukowym. Zlewnia Jeziora Gardno w znikomym stopniu podlega antropopresji.

Zlewnia górnej Parsęty położona jest w obrębie Pomorza Środkowego, w mezoregionie Pojezierza Drawskiego. Można ją uznać za reprezentatywną dla pojeziernych

obszarów młodoglacjalnych. Zlewnia górnej Parsęty pozostaje jeszcze obszarem stosunkowo mało intensywnych przemian środowiska przyrodniczego.

W krajobrazie zlewni badawczej Czarnej Hańczy dominują utwory i formy lodowcowe oraz wodnolodowcowe z okresu recesji lądolodu fazy pomorskiej. Obszar ten ma najbardziej surowe warunki klimatyczne w nizinnej części Polski. Znaczna część zlewni znajduje się na obszarze Wigierskiego Parku Narodowego.

Szczególną rolę odgrywa Stacja Bazowa Puszcza Borecka, gdzie przy braku większych lokalnych źródeł zanieczyszczeń prowadzone są badania jakości powietrza i wód docierających do podłoża zlewni. Dostarczają one informacji na temat dostawy i depozycji składników będących efektem transportu transgranicznego oraz ich wpływu na funkcjonowanie ekosystemów leśnych i jeziornych.

Zlewnia Strugi Toruńskiej reprezentuje geoekosystem młodoglacjalny przeobrażony rolniczo. Zlewnia jest silnie zagrożony obszarowymi zanieczyszczeniami rolniczymi, zanieczyszczeniami powietrza z pobliskich szlaków komunikacyjnych i zakładów przemysłowych z Torunia i Bydgoszczy. W krajobrazie zlewni dominują pola uprawne, na których prowadzona jest intensywna gospodarka rolna. Cały obszar jest prawie bezleśny i silnie zmeliorowany.

W strefie staroglacjalnej Nizy Polskiego położona jest zlewnia badawcza Kanału Olszowieckiego. Obszar ten znajduje się w Puszczy Kampinoskiej, w której dominuje geoekosystem bagienno-łąkowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Zlewnia położona jest w Kampinoskim Parku Narodowym i podlega zanieczyszczeniom atmosferycznym z Warszawy i zanieczyszczeniom rolniczym z Równiny Błońskiej.

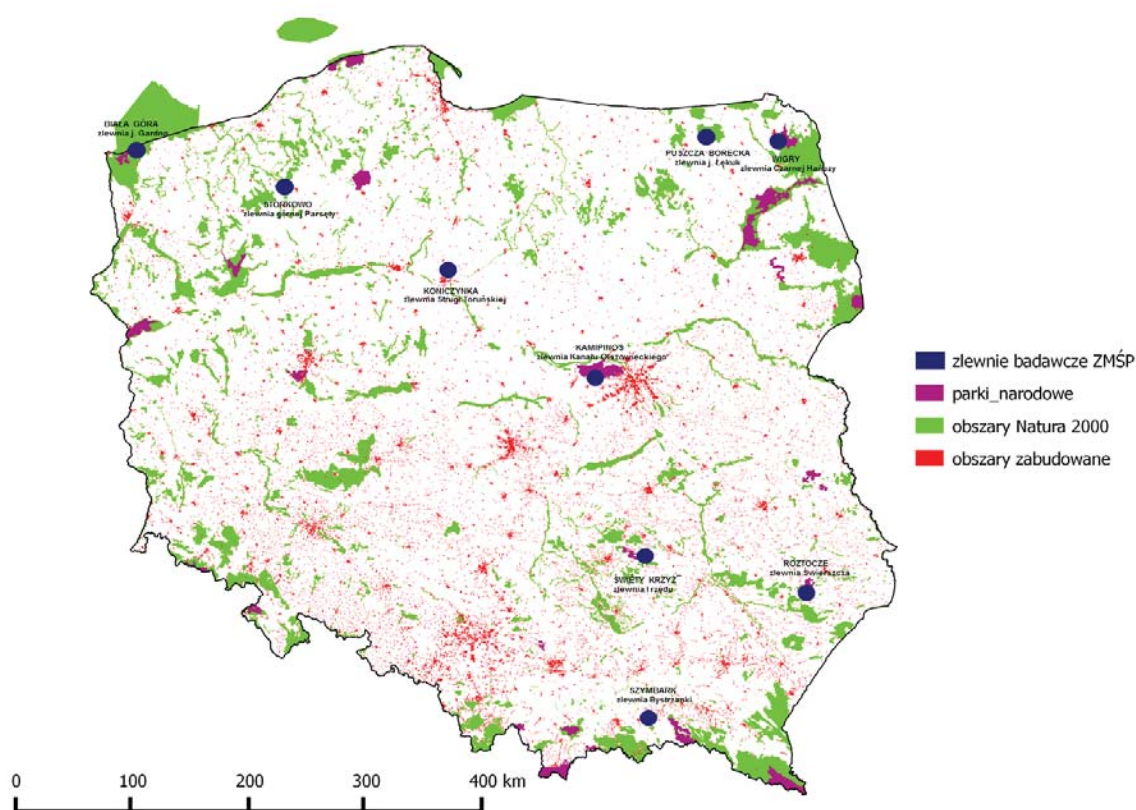
W strefie Wyżyn Polskich zlokalizowana jest zlewnia rzeki Świerszcz. Rzeka Świerszcz jest śródleśnym ciekim, który początek ma ulokowany w obszarze mokradłowym (w systemie borów bagiennych oraz torfowisk wysokich o ombrofilnym charakterze gospodarki wodnej). Zlewnia Świerszcza posiada leśno-rolnicze użytkowanie oraz znajduje się pod niewielkim wpływem działalności człowieka. Położona jest w 40% na terenie Roztoczańskiego Parku Narodowego.

Geoekosystem badawczy Święty Krzyż obejmuje badaniami zlewnię leśno-rolniczą w strefie niskich Gór Świętokrzyskich, w masywie Łysogór. Położona w Świętokrzyskim Parku Narodowym zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych jak i ponadregionalnych emisji przemysłowych, co spowodowało już niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych.

Zlokalizowana w Karpatach Fliszowych zlewnia Bystrzanki reprezentuje geoekosystem gór średnich. Zlewnia narażona jest na zanieczyszczenia transgraniczne ze Słowacji, a obecnie w mniejszym stopniu z Gorlic. Badania monitoringowe uwzględniają specyfikę wynikającą z piętrowości występowania i natężenia procesów oraz zjawisk przyrodniczych w górach, m.in. ruchów osuwiskowych i procesów erozji wodnej gleb. Ruchy masowe mają istotne znaczenie w kształtowaniu środowiska przyrodniczego Karpat, a zarazem stanowią duże zagrożenie dla działalności gospodarczej.

3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A PROGRAM NATURA 2000

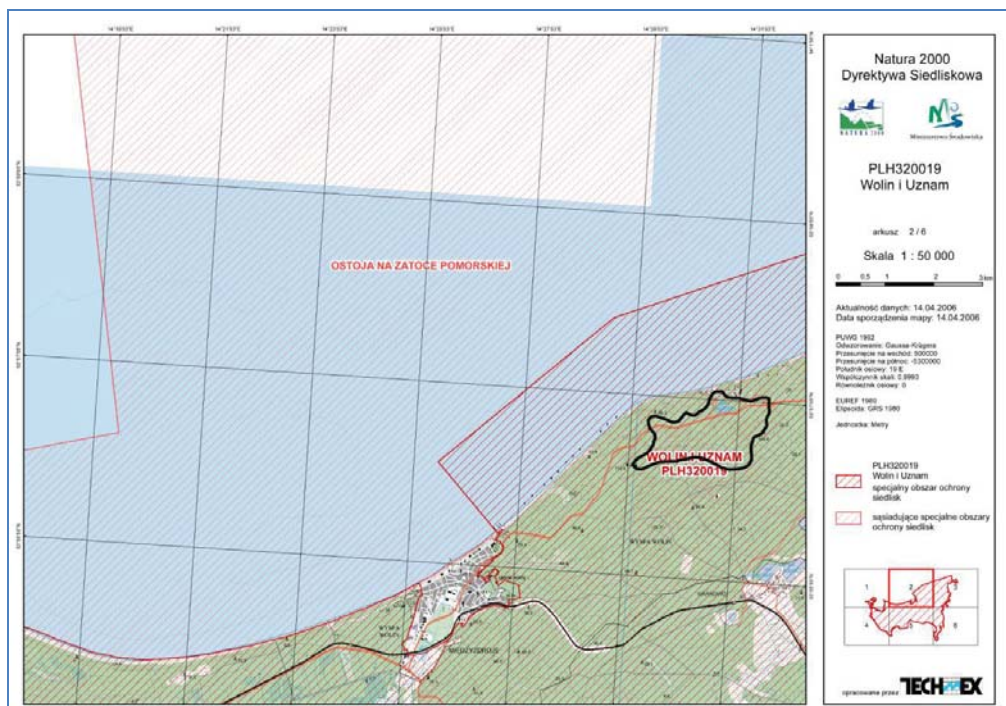
Pięć zlewni ZMŚP położonych jest w Parkach Narodowych: Wolińskim, Wigierskim, Kampinoskim, Świętokrzyskim i Roztoczańskim (ryc. 2). Siedem zlewni badawczych ZMŚP położonych jest na obszarach włączonych do sieci Natura 2000. Podnosi to znaczenie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego dla 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 wykorzystany do oceny stanu oraz ewentualnych zagrożeń siedlisk w programie Natura 2000.



Ryc. 2. Lokalizacja zlewni ZMSP w strukturze ochrony przyrody Polski

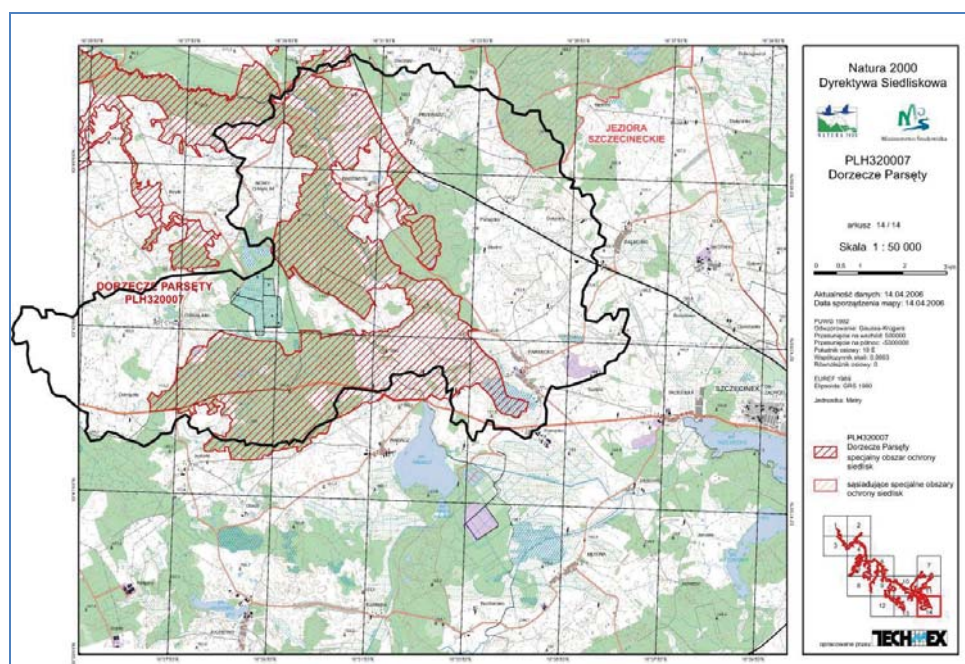
Spośród dziewięciu Stacji Bazowych ZMŚP siedem jest położonych całkowicie, albo w znacznej części na obszarach Natura 2000. Jedynie zlewnie Stacji Bazowych w Koniczynie oraz w Szymbarku są położone poza granicami obszarów Natura 2000.

Zlewnia jeziora Gardno w Białej Górze położona jest całkowicie w Wolińskim Parku Narodowym oraz w granicach obszaru Natura 2000 *Wolin i Uznam* (PLH320019) (ryc. 3).



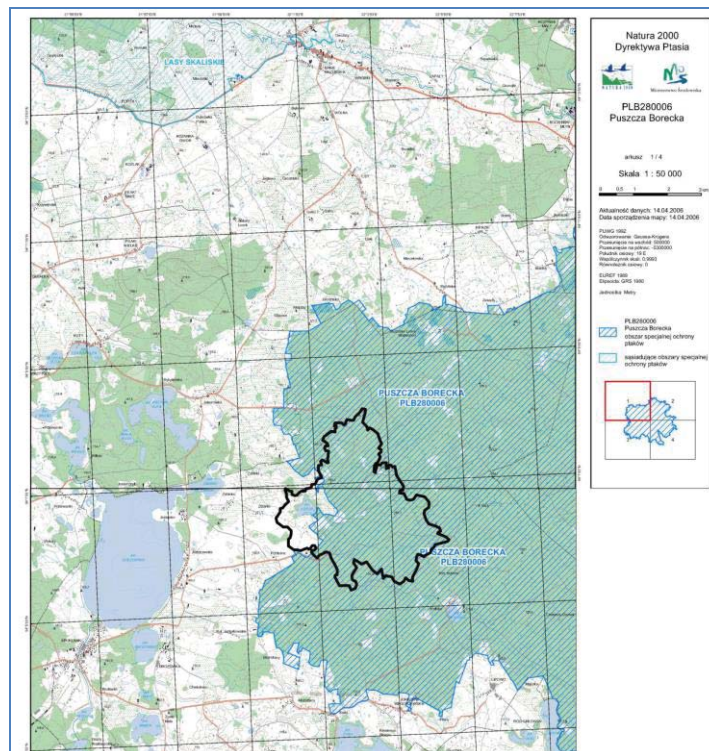
Ryc. 3. Zlewnia jeziora Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Około 35% powierzchni zlewni górnej Parsęty w Stacji Bazowej Storkowo wchodzi w skład Obszaru Natura 2000 *Dorzecze Parsęty* (PLH320007) i *Jeziora Szczecineckie* (PLH320009), (ryc. 4).



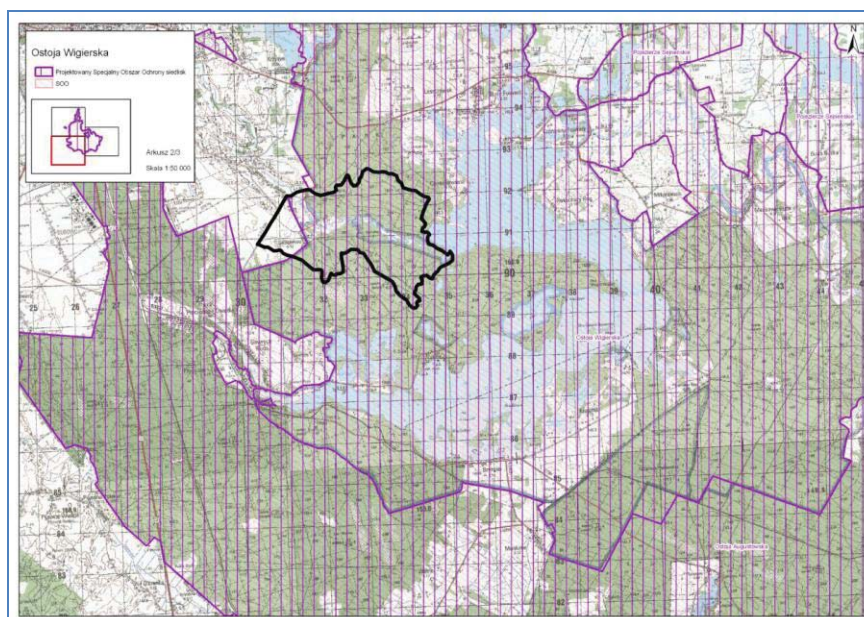
Ryc. 4. Zlewnia górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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



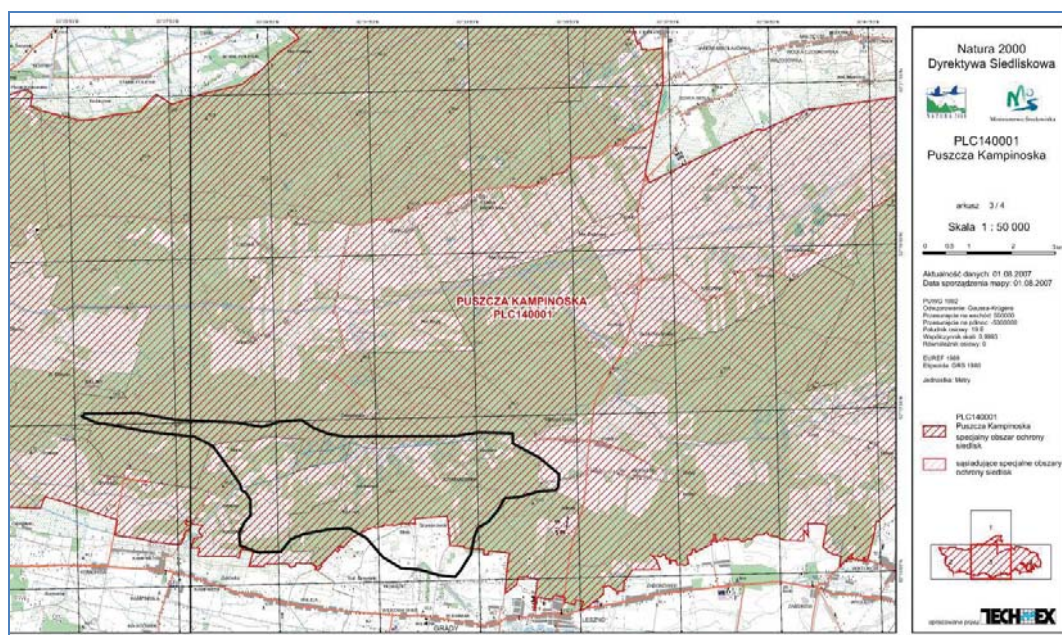
Ryc. 5. Zlewnia jeziora Łękek (Stacja Bazowa Puszcza Borecka) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Zlewnia Czarnej Hańczy, objęta monitoringiem w Stacji Bazowej Wigry, wchodzi w około 80% w skład obszaru Natura 2000 *Ostoja Wigierska* (PLH200004), (ryc. 6). Ponadto zlewnia leży w Wigierskim Parku Narodowym.



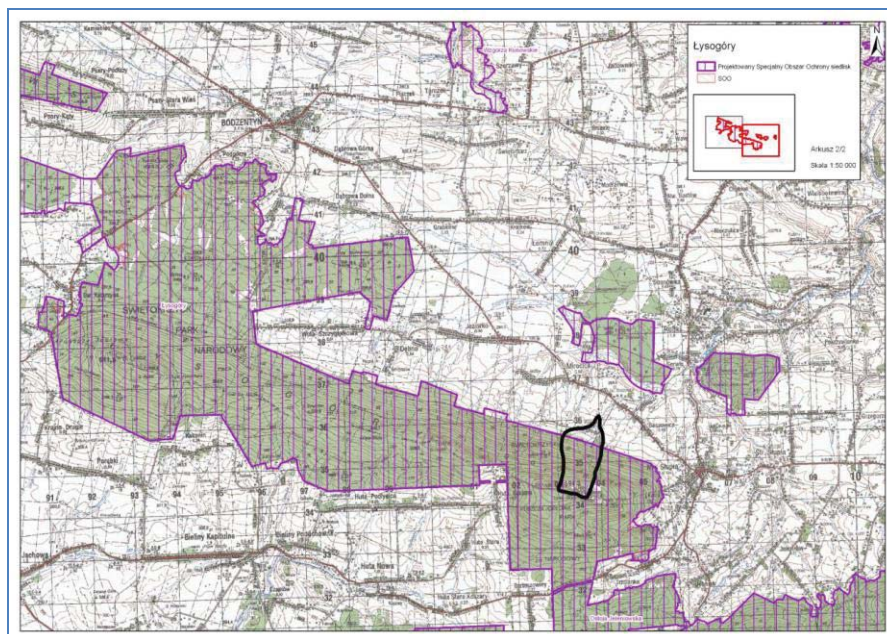
Ryc. 6. Zlewni różnicowa Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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. 7).



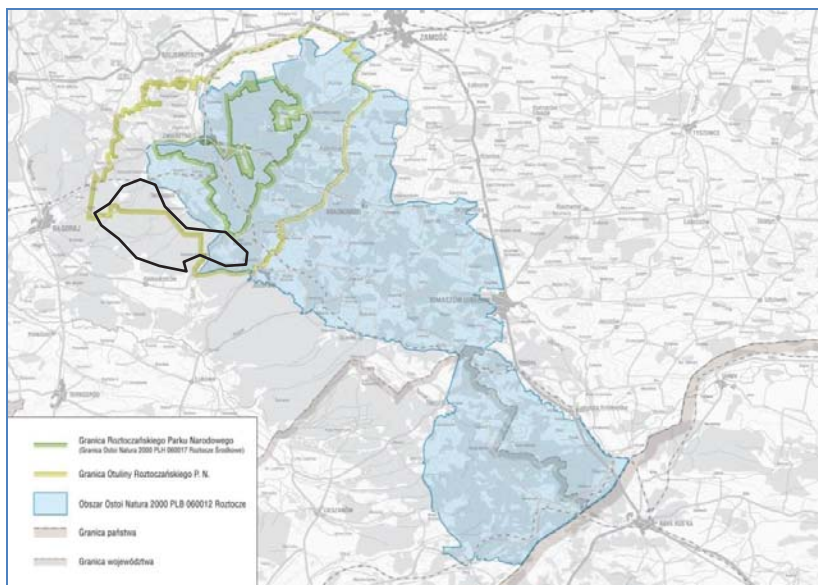
Ryc. 7. Zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

Około 75% zlewni badawczej w Stacji Bazowej Święty Krzyż leży w granicach obszaru Natura 2000 *Łysogóry* (PLH260002) oraz na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego (ryc. 8).



Ryc. 8. 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. 9).



Ryc. 9. 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. SYSTEM POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP

Podstawowy program badawczo-pomiarowy ZMŚP realizowany w 2014 roku w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 2. Stacje Bazowe zrealizowały w 2014 roku założony program podstawowy oraz wybrane parametry nieobligatoryjnego programu rozszerzonego. Sytuacją niezależną od prowadzących monitoring – wycinką drzew niezależną od działań Stacji – należy wyjaśnić nie zrealizowanie programu M1 epifity nadrzewne przez Stację w Szymbarku.

Tab. 2. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w 2014 roku

Program pomiarowy podstawowy	Biała Góra	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Meteorologia A1									
Chemizm powietrza B1									
Chemizm opadów atmosferycznych C1									
Chemizm opadu podokapowego C2									
Chemizm spływu po pniach C3									
Metale ciężkie i siarka w porostach D1									
Gleby E1									
Roztwory glebowe F1									
Wody podziemne F2									
Chemizm opadu organicznego G2									
Wody powierzchniowe - rzeki H1									
Wody powierzchniowe – jeziora H2									
Struktura i dynamika szaty roślinnej J2									
Uszkodzenia drzew i drzewostanów K1									
Epifity nadrzewne M1									
Fauna epigeiczna O1									
realizowany przez Stację Bazową ZMŚP	realizowany przez zespoły specjalistyczne ZMŚP		nie realizowany w roku 2013 – program realizowany co 5 lat		nie realizowany – brak w zlewni danego komponentu środowiska geograficznego		nie realizowany – brak sprzętu, lub inne przyczyny		

Stacje Bazowe realizują ponadto programy specjalistyczne, które wynikają z indywidualności przyrodniczej położenia obszaru badań oraz dostosowane są do potrzeb i zaplecza organizacyjno-merytorycznego poszczególnych Stacji. Realizowane i raportowane są następujące programy specjalistyczne:

- morfodynamika wybrzeża klifowego (Biała Góra),
- erozja wodna gleb (Storkowo),
- zanieczyszczenie powietrza – pył PM_{2,5}; metale ciężkie i WWA, rtęć (Puszcza Borecka),
- monitoring inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia, badania dynamiki zmian poziomu wód podziemnych i ich wpływu na podmokłe ekosystemy leśne (Wigry),
- monitoring fauny glebowej w agroekosystemach, monitoring populacji lęgowych dymówki, bilans promieniowania (Koniczynka),
- monitoring bociana białego, monitoring malakofauny (Kampinos),
- funkcjonowanie geoekosystemu w warunkach alkalicznej imisji (Święty Krzyż),
- monitoring flagowych gatunków ptaków, monitoring lęgowych sów leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych, monitoring dzwoneczka wonnego (Roztocze),
- erozja wodna gleb, rozbryzg (Szymbark).

PRZEGLĄD PROGRAMÓW POMIAROWYCH:

Programy wykonywane przez Stacje Bazowe ZMŚP

METEOROLOGIA – A1

Stacje Bazowe prowadzą pomiary meteorologiczne przy pomocy automatycznych stacji meteorologicznych typu Vaisala. W większości Stacji prowadzi się dodatkowy pomiar manualny wybranych elementów pogodowych o godz. 6.00 czasu GMT. Ponadto Stacje w Białej Górze, Storkowie i Szymbarku prowadzą pomiary manualne elementów pogodowych o godz. 6.00, 12.00 i 18.00 czasu GMT.

CHEMIZM POWIETRZA – B1

Stacje Bazowe realizują ten program poprzez:

- metodę pasywną z próbkowaniem 1 raz na miesiąc: Biała Góra, Wigry,
- metodę automatyczną: Storkowo, Kampinos, Roztocze,
- metodę pasywną i automatyczną: Koniczynka, Święty Krzyż, Szymbark,
- metodę pasywną, manualną i automatyczną: Puszcza Borecka.

W realizacji tego programu Stacje Bazowe w znacznym stopniu (poza Świętym Krzyżem i Puszcza Borecką) korzystają ze współpracy z Wojewódzkimi Inspektoratami Ochrony Środowiska (Szczecin, Toruń, Warszawa, Lublin) lub z usług firmy Propagator.

CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH – C1

Program wykonywały wszystkie Stacje Bazowe w próbkach pobieranych z kolektora opadu mokrego Eigenbrodt. Sumaryczne próbki miesięczne poddano badaniom właściwości fizykochemicznych. W części Stacji (Storkowo, Puszcza Borecka, Kampinos, Święty Krzyż i Szymbark) dodatkowo są pobierane próbki dobowe opadu całkowitego za pomocą otwartych chwytaczy standardowych.

OPAD PODKORONOWY C2

Program realizowany był przez 8 Stacji Bazowych. Stacja Koniczynka nie realizuje programu z powodu braku powierzchni leśnych w zlewni badawczej Strugi Toruńskiej. Stanowiska są rozmieszczane w różnych, typowych dla badanych zlewni drzewostanach. Po dwie powierzchnie testowe w różnych drzewostanach posiadają Stacje Święty Krzyż, Roztocze (buczyna, jedlina) i Szymbark (grabina, świerczyna). System pomiarowy opadu podkoronowego obejmuje zwykle po kilkanaście chwytaczy zlokalizowanych w węzłach siatki lub na planie krzyża (minimalna ilość chwytaczy – 2 w Kampinosie, maksymalna - po 20 na jednej powierzchni w Szymbarku). Próbkę pobierane są po dwutygodniowej lub miesięcznej ekspozycji (w Wigrach i Roztoczu są zbierane próbki tygodniowe). W terenie podczas poboru próbek wykonywany jest pomiar objętości opadu podkoronowego.

SPLYW PO PNIACH C3

Program wykonywany był w 5 Stacjach Bazowych (Biała Góra, Puszcza Borecka, Święty Krzyż, Roztocze i Szymbark), które na powierzchniach testowych posiadają znaczący udział drzewostanów liściastych. W przypadku dominacji w zlewni ZMŚP drzewostanu iglastego program spływu po pniach jest nieobligatoryjny. Stacje z przewagą drzewostanów iglastych (Storkowo, Koniczynka, Wigry) oraz Stacja bez powierzchni leśnych (Koniczynka) nie realizują tego programu. W Stacjach realizujących program C3 zbiera się próbki z od 3 (Biała Góra) do 9 wytypowanych drzew (Roztocze), charakterystycznych dla miejscowych drzewostanów. Próbkę są pobierane w cyklu tygodniowym lub miesięcznym.

ROZTWORY GLEBOWE F1

Program pomiarowy realizowały wszystkie Stacje Bazowe ZMŚP Stacje stosowały zwykle próbniki podciśnieniowe z końcówką teflonową (w Białej Górze próbniki grawitacyjne). Pobór próbek wód glebowych był dokonywany na różnych typach gleb (charakterystycznych dla geoekosystemów zlewni), w różnych konfiguracjach przestrzennych i na zróżnicowanych głębokościach (zwykle 20-30, 50-60 i 80-100 cm), uzależnionych od typu gleb i warunków wilgotnościowych. W terenie w trakcie pomiarów mierzono objętości roztworów.

WODY PODZIEMNE F2

Program wody podziemne realizowały wszystkie Stacje Bazowe. W zależności od specyfiki geoekosystemów program ten oparty jest na pomiarach i poborze próbek wody w źródłach (Święty Krzyż, Szymbark) lub w piezometrach (pozostałe Stacje). Część Stacji posiada automatyczne urządzenia do rejestracji poziomu i temperatury wód podziemnych (Biała Góra, Storkowo, Kampinos). Szczególnie rozwinięty system pomiaru wód podziemnych posiada Stacja w Kampinosie (22 piezometry wyposażone w divery). Pobór próbek wody odbywa się z różną częstotliwością od 1/tydzień do 1/kwartał.

CHEMIZM OPADU ORGANICZNEGO – G2

Wszystkie Stacje Bazowe poza Koniczynką (brak lasów w zlewni badawczej) realizowały program chemizmu opadu organicznego. Chwytnice opadu organicznego najczęściej były lokowane w pobliżu stanowisk opadu podkapowego, w zróżnicowanych pod względem składu gatunkowego i wieku drzewostanach. Stacje pobierały opad organiczny za pomocą różnej liczby chwytnicy (od 3 do 30) o łącznej powierzchni od 0,7 do 1,7m². Próbkę pobierano w cyklu miesięcznym.

WODY POWIERZCHNIOWE RZeki H1

Program realizowały wszystkie Stacje Bazowe. W większości Stacji punkt pomiarowy założono w profilu hydrometrycznym zamykającym zlewnię badawczą. W przypadku Stacji Koniczynka i Wigry badane są zlewnie różnicowe, co wymaga wprowadzenia 2 stanowisk pomiarowych (na wejściu i wyjściu ze zlewni). W Storkowie program jest realizowany dla dwóch zlewni: Parsęty i jej podsystemu – Młyńskiego Potoku, natomiast w Świętym Krzyżu na 2 stanowiskach pomiarowych położonych w górnym i dolnym odcinku tego samego cieku. W Rostoczu pomiary hydrometryczne prowadzono na rzece Świerszcz na 3 stanowiskach: Malowany Most, Wygoda I i Wygoda II. Część Stacji (Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka i Rostocze) wyposażała punkty hydrometryczne w automatyczne rejestratory stanu wody, co umożliwiła obliczanie dla tych stanów przepływów. Pozostałe Stacje Bazowe w punktach hydrometrycznych mają zainstalowane limnigrafy. Stacje pobierają próbki wody do badań chemizmu raz na tydzień lub raz na miesiąc.

WODY POWIERZCHNIOWE JEZIORA H2

Monitoring wód jeziornych jest prowadzony w tych Stacjach, gdzie występują zbiorniki jeziorne: Biała Góra – jezioro Gardno, Storkowo – jezioro Czarne i Puszcza Borecka – jezioro Łękuk. Punkty pomiarowe są zlokalizowane w najgłębszych miejscach jezior. Biała Góra pobiera próbki wód podpowierzchniowych co miesiąc, a wód głębszych 1 raz na kwartał co 1 m do głębokości 7 m. W Storkowie próbki są pobierane 4 razy w roku z trzech głębokości: 1

m, 3 m i 5 m. W roku 2012 Puszcza Borecka pobierała próbki wód jeziornych 11 razy, z głębokości 1 m i z 11 m. Część parametrów (pH, tlen rozpuszczony, SEC, temperatura) jest mierzona bezpośrednio podczas pomiarów terenowych.

USZKODZENIA DRZEW I DRZEWOSTANÓW K1

Program uszkodzenia drzew i drzewostanów wykonano we wszystkich Stacjach Bazowych poza Konieczynką ze względu na brak lasów w zlewni badawczej. Ocenę stanu uszkodzeń drzew Stacje oparły o stanowiska w wybranych siedliskach (po 2, 3 lub 4 w zlewni badawczej). Na każdej powierzchni zbadano 20 drzew, określając ubytek aparatu asymilacyjnego i odbarwienia koron, uszkodzenia pnia oraz procent martwych gałęzi w koronie. Za kryterium oceny stanu zdrowotności drzewostanu przyjęto procent ubytku aparatu asymilacyjnego drzew: gatunków liściastych w lipcu oraz gatunków iglastych we wrześniu/październiku. Dla każdego z wybranych do monitorowania drzew pomierzono pierśnicę oraz wysokość drzewa.

EPIFITY NADRZEWNE M1

Powierzchnie testowe do monitoringu porostów zostały założone we wszystkich Stacjach Bazowych. W 2014 roku ze względu na wycięte drzewa Stacja Bazowa Szymbark nie realizowała tego programu. Pomiary w Stacjach Bazowych wykonywano wg szczegółowej instrukcji sporządzonej na potrzeby ZMŚP przez prof. Fałtynowicza z Uniwersytetu Wrocławskiego. Stanowiskiem monitoringowym jest jedno drzewo, dla którego wyznaczono lokalizację, określono jego gatunek oraz zmierzono pierśnicę i orientacyjną wysokość. Powierzchnią monitoringową jest oznakowany fragment pnia drzewa. Stacje Bazowe prowadzą monitoring porostów nadrzewnych na od 8 do 10 powierzchni monitoringowych. Na każdej powierzchni wypełniana jest karta obserwacji gatunku, dla każdego taksonu osobno, w której zamieszcza się uwagi o: zdrowotności plech, rozmieszczeniu, liczebności i zdrowotności gatunków poza powierzchnią, ewentualnych zagrożeniach, maksymalnej długości plech danego gatunku. Następnie wykonuje się narysy plech na wcześniej przygotowanych przezroczystych foliach formatu A4. W Stacjach Bazowych wyznaczono do monitoringu po około 10 gatunków porostów.

Programy wykonywane przez Specjalistów ZMŚP

METALE CIĘŻKIE I SIAKA W POROSTACH D1

Realizacja tego programu oparta jest na współpracy Stacji Bazowych z zespołem specjalistycznym prof. Katarzyny Sawickiej-Kapusty (UJ Kraków). Zadaniem Stacji jest przeprowadzenie w miesiącu lipcu zbioru próbek porostów (pustulki pęcherzykowatej) na wytypowanych stanowiskach w zlewniach badawczych. Próbki są następnie przesyłane do

zespołu specjalistycznego. Taki sposób realizacji programu D1 ma miejsce w 8 Stacjach Bazowych, gdzie porosty występują w sposób naturalny w środowisku zlewni (poza Koniczynką). Dla Stacji Koniczynka przeprowadzana jest natomiast ekspozycja zimowa i letnia porostów transplantowanych z Borów Tucholskich.

FAUNA EPIGEICZNA O1

Stacje Bazowe realizują ten program przy pomocy zespołu specjalistów prof. Stanisława Huruka (UJK Kielce). Stacje pobierają w sezonie wegetacyjnym (maj–październik) próbki z rozstawionych w lasach pułapek (pułapki Barbera) i segregują zebrany materiał. Stacja Koniczynka z powodu braku powierzchni leśnych realizuje w zamian program specjalistyczny bezkręgową faunę glebową. W pozostałych Stacjach są wyznaczone powierzchnie monitoringowe (od 2 do 6), na których zainstalowano pułapki (od 3 do 5 na jednej powierzchni). Pozyskane próbki fauny biegaczowatych są wysyłane w przypadku Kampinosu do specjalistów z Katedry Ochrony Lasu SGGW.

5. ZAKRES WYKONANYCH PROGRAMÓW POMIAROWYCH PRZEZ STACJE BAZOWE ZMŚP

Zakres pomiarowy ZMŚP realizowany w 2014 roku w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zakres pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe w 2014 roku

BG – Biała Góra, ST – Storkowo, PB – Puszcza Borecka, WI – Wigry, KO – Koniczynka, KA – Kampinos, ŚK – Święty Krzyż, RO – Roztocze, SZ – Szymbark

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja (stacje ZMŚP)
A1	Meteorologia	Zakres podstawowy (2)		
		TA_D	temperatura powietrza na termometrze suchym	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		TA_N	temperatura powietrza na termometrze minimalnym	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		TA_X	temperatura powietrza na termometrze maksymalnym	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		TA_G	temperatura powietrza przy powierzchni gruntu (5 cm)	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		T_S	temperatury gruntu na głębokościach 5, 20, 50 cm	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		HH	wilgotność względna	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		RR_T	opady atmosferyczne na wysokości 1 m n.p.g.	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		RR_P	czas trwania opadów	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		WIV	prędkość wiatru na 10 m	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		WID	kierunek wiatru na 10 m	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SC_H	miąższość pokrywy śnieżnej	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SOL_T	promieniowanie całkowite	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SOL_E	promieniowanie całkowite (energia)	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SOL_P	uśłonecznienie	BG, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (2)		
		SC_WC	gęstość śniegu	BG, ST, SZ
		PRES	ciśnienie atmosferyczne	BG, ST, PB
B1	Zanieczyszczenie powietrza	Zakres podstawowy (2)		
		SO2S	dwutlenek siarki	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NODN	dwutlenek azotu	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (6)		

Stan geoekosystemów Polski w 2014 roku

		O3	ozon	ST, PB, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N_T	azot azotanowy	PB, KO
		NH4N_T	azot amonowy	PB,
		SO4S	siarka siarczanowa	PB, KO
		CO2	dwutlenek węgla	PB,
		PM10	pył zawieszony	KO, KA
C1	Chemizm opadów atmosferycznych	Zakres podstawowy (10)		
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO3-	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (5)		
		AL	glin	PB, ŚK
		FE	żelazo	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	ST, PB, ŚK
		PO4P	fosfor fosforanowy PO43-	ST
		PTOT	olów	ST, PB, ŚK
C2	Chemizm opadu podkoronowego	Zakres podstawowy (11)		
		RR_TF	wysokość	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO3-	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ

Stan geoekosystemów Polski w 2014 roku

		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (5)		
		AL	glin	PB, ŚK
		FE	żelazo	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	ST, PB, ŚK
		PO4P	fosfor fosforanowy PO43-	ST
		PTOT	olów	ST, PB, ŚK
C3	Chemizm spływu po pniach	Zakres podstawowy (11)		
		RR_SF	wysokość	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		PH	odczyn pH	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO3-	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		NA	sód Na	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		K	potas K	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		CA	wapń Ca	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		MG	magnez Mg	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (5)		
		AL	glin	PB, ŚK
		FE	żelazo	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	ST, PB, ŚK
		PO4P	fosfor fosforanowy PO43-	ST
		PTOT	olów	ST, PB, ŚK
F1	Roztwory glebowe	Zakres podstawowy (11)		

Stan geoekosystemów Polski w 2014 roku

		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		HCO3	zasadowość	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO3-	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (4)		
		MN	mangan	ŚK
		AL	glin	ŚK
		PO4P	fosfor fosforanowy PO43-	ŚK
		FE	żelazo	ŚK
F2	Wody podziemne	Zakres podstawowy (16)		
		WL, SPRING_D	Stan wody, wydajność źródła	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		TEMP	temperatura wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		HCO3	zasadowość	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO3-	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ

Stan geoekosystemów Polski w 2014 roku

F2	Wody podziemne	O2D	Rozpuszczony tlen	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		BZT5	BZT5	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (12)		
		SiO2	krzemionka	ST, PB
		Al	glin	PB
		Fe	żelazo	PB, KO, ŚK, SZ
		Mn	mangan	PB, KO, ŚK, SZ
		As	arsen	PB, ŚK
		Cd	kadm	PB, ŚK
		Cr	chrom	PB, ŚK
		Cu	miedź	PB, ŚK
		Ni	nikiel	PB, ŚK
		Pb	olów	PB, ŚK
		Zn	cynk	PB, ŚK
		DOC	węgiel org. rozpuszczony	PB, ŚK
G2	Chemizm opadu organicznego	Zakres podstawowy (10)		
		LDEP_D	opad organiczny (masa sucha)	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		TOC	całkowity węgiel organiczny Corg	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		LDEP_F	masa świeża	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		STOT	siarka ogólna Sogól.	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NTOT	azot ogólny Nogól.	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		Ca	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		Mg	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		Na	sód Na	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (6)		
		Mn	mangan	PB, ŚK
		B	bor	PB, ŚK
		Cd	kadm	PB, ŚK

Stan geoekosystemów Polski w 2014 roku

		Cu	miedź	PB, ŚK
		Mo	molibden	PB, ŚK
		Pb	ołów	PB, ŚK
H1	Wody powierzchniowe rzeki	Zakres podstawowy (17)		
		Q_E	przepływ wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		TEMP	temperatura wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		WL	stan wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		HCO3	zasadowość	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		O2D	tlen rozpuszczony	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		CL	chlorki	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		BZT5	biochemiczne zapotrzebowanie tlenu	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO3	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony (14)		
		SUS	zawiesina	ST
		Fe	żelazo	ST, PB
		Mn	mangan	ST, PB
		SiO2	krzemionka	ST, PB
		PO4P	fosfor fosforanowy	ST, PB
		Al	glin	PB
		As	arsen	PB
		Cd	kadm	PB, ŚK
		Cr	chrom	PB

Stan geoekosystemów Polski w 2014 roku

		Cu	miedź	PB, ŚK
		Ni	nikiel	PB
		Pb	ołów	PB
		Zn	cynk	PB
		DOC	rozp węgiel org	PB
H2	Wody powierzchniowe jeziora	Zakres podstawowy (16)		
		WL	stan wody	BG, ST, PB
		TEMP	temperatura wody	BG, ST, PB
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB
		NA	sód Na	BG, ST, PB
		K	potas K	BG, ST, PB
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB
		HCO3	zasadowość	BG, ST, PB
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, ST, PB
		O2D	tlen rozpuszczony	BG, ST, PB
		CL	chlorki	BG, ST, PB
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, ST, PB
		BZT5	biochemiczne zapotrzebowanie tlenu	BG, ST, PB
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB
		NO3N	azot azotanowy NO3	BG, ST, PB
		Zakres rozszerzony (13)		
		Fe	żelazo	ST, PB
		Mn	mangan	ST, PB
		SiO2	krzemionka	ST, PB
		PO4P	fosfor fosforanowy	ST, PB
		Al	glin	PB
		As	arsen	PB
		Cd	kadm	PB
		Cr	chrom	PB

Stan geoekosystemów Polski w 2014 roku

		Cu	<i>miedź</i>	PB
		Ni	<i>nikiel</i>	PB
		Pb	<i>ołów</i>	PB
		Zn	<i>cynk</i>	PB
		DOC	<i>rozp węgiel org</i>	PB
K1	Uszkodzenia drzew i drzewostanów	Zakres podstawowy (3)		
		DEFO	<i>defoliacja</i>	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		DISC	<i>odbarwienia</i>	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		DBH	<i>pierśnica</i>	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
M1	Epifity nadrzewne	Zakres podstawowy (3)		
		COVE_1	<i>pokrycie</i>	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO
		HEALTH_L	<i>zdrowotność plechy</i>	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO
		PER_T	<i>obwód pnia -podłoża</i>	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO

Kod	Nazwa programu pomiarowego (realizowane przez specjalistów ZMSP)	Realizacja (stacje Bazowe ZMŚP)
E1	Gleby	SZ
D1	Metale ciężkie i siarka w porostach	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
J1	Struktura i dynamika szaty roślinnej	ST
O1	Fauna epigeiczna	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ

Ilość pobranych próbek, zaplecze laboratoryjne Stacji Bazowych

Przybliżona łączna liczba próbek wód pobranych w Stacjach Bazowych w 2014 roku wyniosła:

- opad atmosferyczny: 1070,
- opad podokapowy 370,
- spływ po pniach 150,
- roztwory glebowe 210,
- wody podziemne 250,
- wody rzeczne 950,
- wody jeziorne 80.

Metody wstępnego przygotowania próbek i analityki laboratoryjnej w Stacjach Bazowych oraz w laboratoriach wykonujących oznaczenia dla Stacji Bazowych są zamieszczone w sprawozdaniach Stacji Bazowych (w załącznikach do opracowania).

6. WYBRANE GEOWSKAŹNIKI IŁOŚCIOWE OBIEGU WODY W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP

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). Listę 27 geoindykatorów wg IUNG można uznać za punkt wyjścia do przyjęcia geoindykatorów mogących znaleźć zastosowanie w raportach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W niniejszym opracowaniu wykorzystano kilka geowskaźników, które zastosowano w syntetycznych raportach ZMŚP za lata 2010 – 2013 (Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013, Tylkowski 2014). Geowskaźniki przedstawione w opracowaniu dotyczą ilościowych i jakościowych właściwości obiegu wody w monitorowanych zlewniach. Charakterystyka ilościowa i jakościowa wód migrujących w badanych zlewniach potwierdza regułę, że obieg wody i rozpuszczonej w niej materii stanowi główny czynnik zmian środowiska przyrodniczego w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej. Zatem programy badawcze ZMŚP dostosowane są do prawidłowości, iż obieg wody posiada największe znaczenie dla funkcjonowania środowiska geograficznego geoekosystemów Polski. 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 (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.

W opracowaniu opisano 2 geowskaźniki charakteryzujące atmosferyczną dostawę wody i potencjalny stan zasobów wodnych w badanych geoekosystemach:

- wskaźnik termiczno-opadowy,
- wskaźnik tendencji opadowych.

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 2011, 2012). 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.

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) (tab. 4). 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. 6).

Tab. 4. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)

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

Opadową klasyfikację wyznaczono w oparciu o roczną sumę opadów atmosferycznych zgodnie z metodyką opracowaną przez Kaczorowską (1962). Klasyfikacja w stosunku do opadów atmosferycznych zawiera podział na 7 klas opadowych wyróżnionych na

podstawie procentowego udziału rocznej sumy opadu w stosunku do rocznej sumy opadu z wielolecia (tab. 5).

Tab. 5 Klasyfikacja opadowa roku wg Kaczorowskiej (Lorenc 1998)

Nr klasy	Klasa termiczna roku	Kryteria delimitacji klasy
1	ekstremalnie suchy	$p < 50\% p_{\text{norm.}}$
2	bardzo suchy	$p = 50\% - 74\% p_{\text{norm.}}$
3	suchy	$p = 75\% - 89\% p_{\text{norm.}}$
4	normalny	$p = 90\% - 110\% p_{\text{norm.}}$
5	wilgotny	$p = 111\% - 125\% p_{\text{norm.}}$
6	bardzo wilgotny	$p = 126\% - 150\% p_{\text{norm.}}$
7	ekstremalnie wilgotny	$p > 150\% p_{\text{norm.}}$

Warunki termiczne wyrażone w postaci średniej rocznej temperatury powietrza są dla Stacji Bazowych zróżnicowane i determinowane położeniem badanych zlewni w danym regionie klimatycznym Polski. O zmienności regionalnej warunków termicznych świadczyć może np. spadek średniej temperatury powietrza w północnej strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, z zachodu na wschód, od wartości 8,9°C w Białej Górze, 7,7°C w Storkowie, 7,0°C w Puszczy Boreckiej do 6,9°C w Wigrach (2009-2014). W powyższym transekcie zwłaszcza w NW części Polski, w regionie nadmorskim (Biała Góra) bardzo dobrze uwidacznia się wpływ Bałtyku na względnie wyższe zasoby ciepła i małe sezonowe kontrasty termiczne niż w części NE Polski (Wigry), gdzie obserwowany jest wzrost kontynentalizmu klimatu. Poza uwarunkowaniami regionalnymi na warunki termiczne zlewni ZMŚP wpływają czynniki lokalne, związane m. in. z położeniem nad poziomem morza (np. Święty Krzyż w Górach Świętokrzyskich) czy odległością od dużych zbiorników wodnych (np. Biała Góra nad Bałtykiem).

Statystyki opisowe średniej rocznej temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 6. Dokonano opisu statystycznych miar położenia, zmienności oraz asymetrii i koncentracji średniej rocznej temperatury powietrza. Celem analizy miar położenia elementów pogody było określenie ich przeciętnego poziomu i rozmieszczenia. Wśród miar położenia określono wartość średnią arytmetyczną $\bar{x}$ oraz kwartyle Q1, Me, Q3. Statystyczne miary zmienności elementów pogody dotyczyły wyznaczenia wartości rozstępu $R = x_{\text{max}} - x_{\text{min}}$, wariancji s^2 i odchylenia standardowego s . Dla porównania przestrzennej zmienności temperatury powietrza w Stacjach Bazowych zastosowano współczynnik zmienności $V = s/\bar{x} \cdot 100\%$. Wyznaczono również miary asymetrii (skośność As) i koncentracji (kurtoza K).

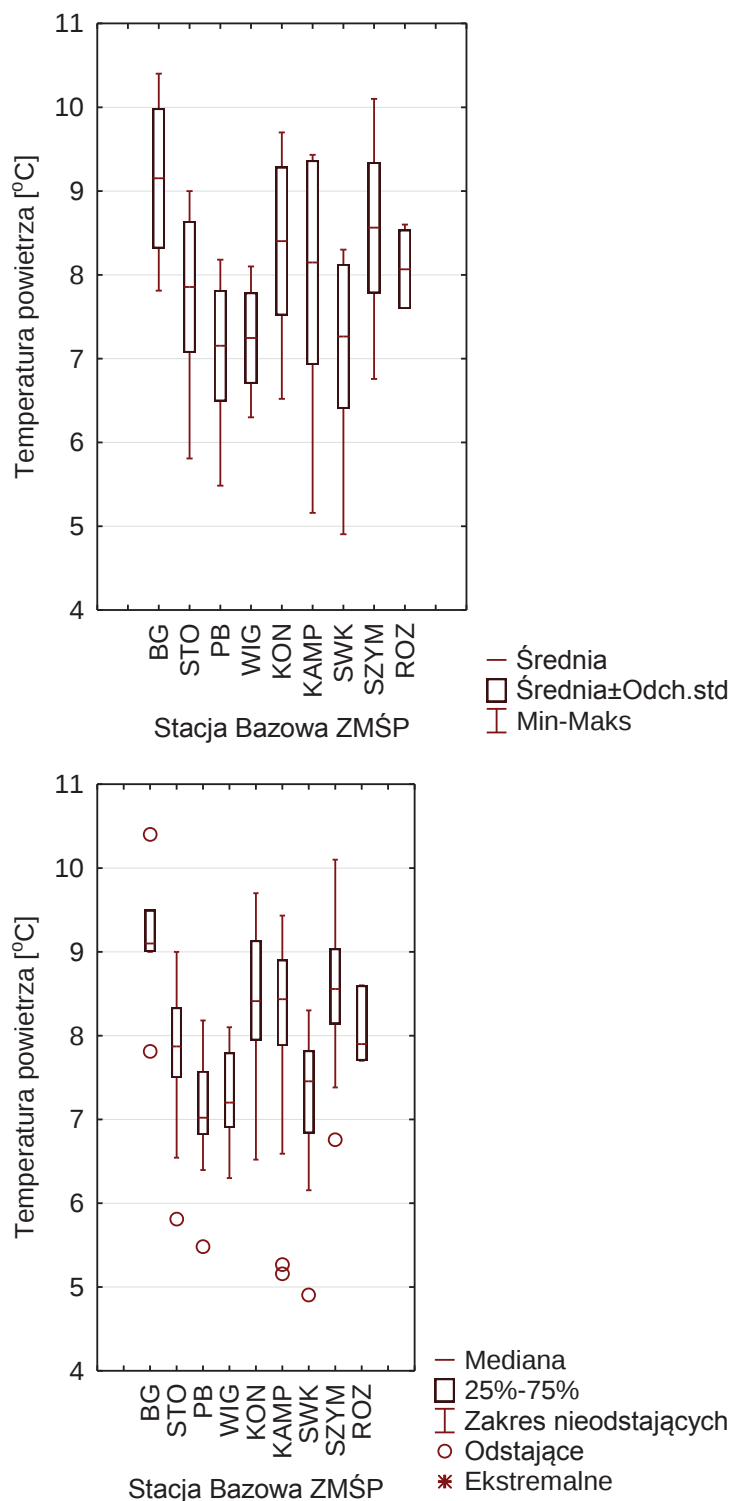
Dla najdłuższej i jednorodnej serii pomiarowej (1995-2014) uwzględniającej Stacje Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos i Szymbark największa zmienność średniej rocznej temperatury powietrza występuje w centralnej części Polski (odchylenie standardowe w Kampinosie wynosi 1,2°C i współczynnik zmienności 15,0%). Najmniejsza zmienność średniej rocznej temperatury powietrza występowała w Polsce północnej (odchylenie standardowe w Puszczy Boreckiej wynosi 0,7°C i współczynnik zmienności 9,3%) oraz w Polsce południowej (odchylenie standardowe w Szymbarku wynosi 0,8°C i współczynnik zmienności 9,1%). Największą amplitudę stwierdzono w Kampinosie 4,3°C a najniższy rozstęp wartości zanotowano w Puszczy Boreckiej 2,7°C. Różnice długości serii pomiarowej warunków meteorologicznych dla Stacji Bazowych ZMŚP wynikają z krótkiego funkcjonowania Stacji w sieci ZMŚP (np. Biała Góra i Roztocze) oraz ze zmiany lokalizacji stacji meteorologicznych (np. Wigry i Święty Krzyż). Ujemna skośność rozkładu temperatury w większości Stacji Bazowych świadczy o lewostronnej asymetrii i niższych wartościach średnich niż mediany czy wartości modalnej (tab. 6).

Tab. 6 Statystyki opisowe średniej rocznej temperatury powietrza w Stacjach ZMŚP. 1995-2014 (Storkowo ST, Puszcza Borecka PB, Koniczynka KO, Kampinos KA, Szymbark SZ), 1999-2014 (Święty Krzyż ŚK), 2002-2014 (Wigry WI), 2009-2014 (Biała Góra BG), 2012-2014 (Roztocze RO)

Stacja ZMŚP	Średnia	Ufność -95%	Ufność 95%	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Percentyl 10	Percentyl 90	Rozstęp	Wariancja	Odchylenie Standardowe	Współczynnik zmienności	Skośność	Kurtosis
BG	9,2	8,3	10,0	9,1	7,8	10,4	9,0	9,5	7,8	10,4	2,6	0,7	0,8	9,1	-0,21	1,83
STO	7,9	7,5	8,2	7,9	5,8	9,0	7,5	8,3	6,9	8,8	3,2	0,6	0,8	10,0	-0,84	1,22
PB	7,2	6,8	7,5	7,0	5,5	8,2	6,8	7,6	6,5	8,1	2,7	0,4	0,7	9,3	-0,43	0,72
WIG	7,2	6,9	7,6	7,2	6,3	8,1	6,9	7,8	6,8	7,9	1,8	0,3	0,5	7,5	0,12	-0,95
KON	8,4	8,0	8,8	8,4	6,5	9,7	7,9	9,1	7,1	9,5	3,2	0,8	0,9	10,6	-0,52	-0,24
KAMP	8,1	7,6	8,7	8,4	5,2	9,4	7,9	8,9	5,9	9,4	4,3	1,5	1,2	15,0	-1,50	1,80
SWK	7,3	6,8	7,7	7,5	4,9	8,3	6,8	7,8	6,2	8,2	3,4	0,7	0,9	11,9	-1,44	2,59
SZYM	8,6	8,2	8,9	8,6	6,8	10,1	8,1	9,0	7,6	9,5	3,3	0,6	0,8	9,1	-0,27	0,57
ROZ	8,1	6,9	9,2	7,9	7,7	8,6	7,7	8,6	7,7	8,6	0,9	0,2	0,5	5,9	1,39	

Zmienność przestrzenną temperatury powietrza w badanych geoekosystemach w zakresie ilości i wartości przypadków odstających od normy (wartości punktu danych $>Q3+1,5H$ i $<Q1-1,5H$, gdzie $H=Q3-Q1$) i ekstremalnych (wartości punktu danych $>Q3+3H$ i $<Q1-3H$, gdzie $H=Q3-Q1$) przedstawiono na ryc. 10. Przypadki odstające notowane były jedynie dla lat o niskich średnich rocznych wartościach temperatury powietrza, np. 1996 rok (Kampinos 5,2°C; Puszcza Borecka 5,5°C; Storkowo 5,8°C i Szymbark 6,8°C), 2008 rok (Kampinos 5,3°C) i 2010 rok (Święty Krzyż 4,9°C). Dla Stacji ZMŚP nie stwierdzono

zdarzeń ekstremalnych (lat) w zakresie średniej rocznej temperatury powietrza. Natomiast stwierdzone przypadki zdarzeń odstających w Stacjach w Białej Górze i Roztocze nie są w pełni zadowalające, gdyż wynikają z bardzo krótkiej serii pomiarowej (poniżej 6 lat).



Ryc. 10 Klasyfikacja termiczna w Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie średniej rocznej temperatury powietrza: 1995-2014 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2014(Święty Krzyż), 2002-2014 (Wigry), 2009-2014 (Biała Góra), Roztocze (2012-2014)

Wskaźnik klasyfikacji termicznej przedstawia znaczną zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (tab. 7). 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 2006-2008. Ostatnie 4 lata obserwacji (2011-2014) zakwalifikować można jako normalne pod względem termicznym tylko dla Puszczy Boreckiej. W pozostałych Stacjach ZMŚP okres 2011-2014 był generalnie cieplejszy, zwłaszcza w Szymbarku, Koniczynie i Świętym Krzyżu. Rok 2014 we wszystkich Stacjach był rokiem cieplejszym od wartości normalnej, co świadczy o wpływie uwarunkowań kontynentalnych na podobne warunki termiczne w całym kraju. Na właściwości cieplne w 2014 roku w badanych zlewniach ZMŚP mały wpływ wywierały uwarunkowania lokalne, związane m. in. z wysokością położenia zlewni i jej odległością od morza.

Tab. 7 Roczna klasyfikacja termiczna (1994-2014) dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok kalendarzowy	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Szymbark
1994							
1995							
1996							
1997							
1998							
1999							
2000							
2001							
2002							
2003							
2004							
2005							
2006							
2007							
2008							
2009							
2010							
2011							
2012							
2013							
2014							

Ekstremalnie ciepły	Anomalnie ciepły	Bardzo ciepły	Ciepły	Lekko ciepły	Normalny	Lekko chłodny	Chłodny	Bardzo chłodny	Anomalnie chłodny	Ekstremalnie chłodny
---------------------	------------------	---------------	--------	--------------	----------	---------------	---------	----------------	-------------------	----------------------

W Stacjach Bazowych Storkowo, Wigry, Koniczynka i Święty Krzyż 2014 rok był bardzo ciepły a w Stacji Szymbark anomalnie ciepły. Generalnie 2014 rok był rokiem

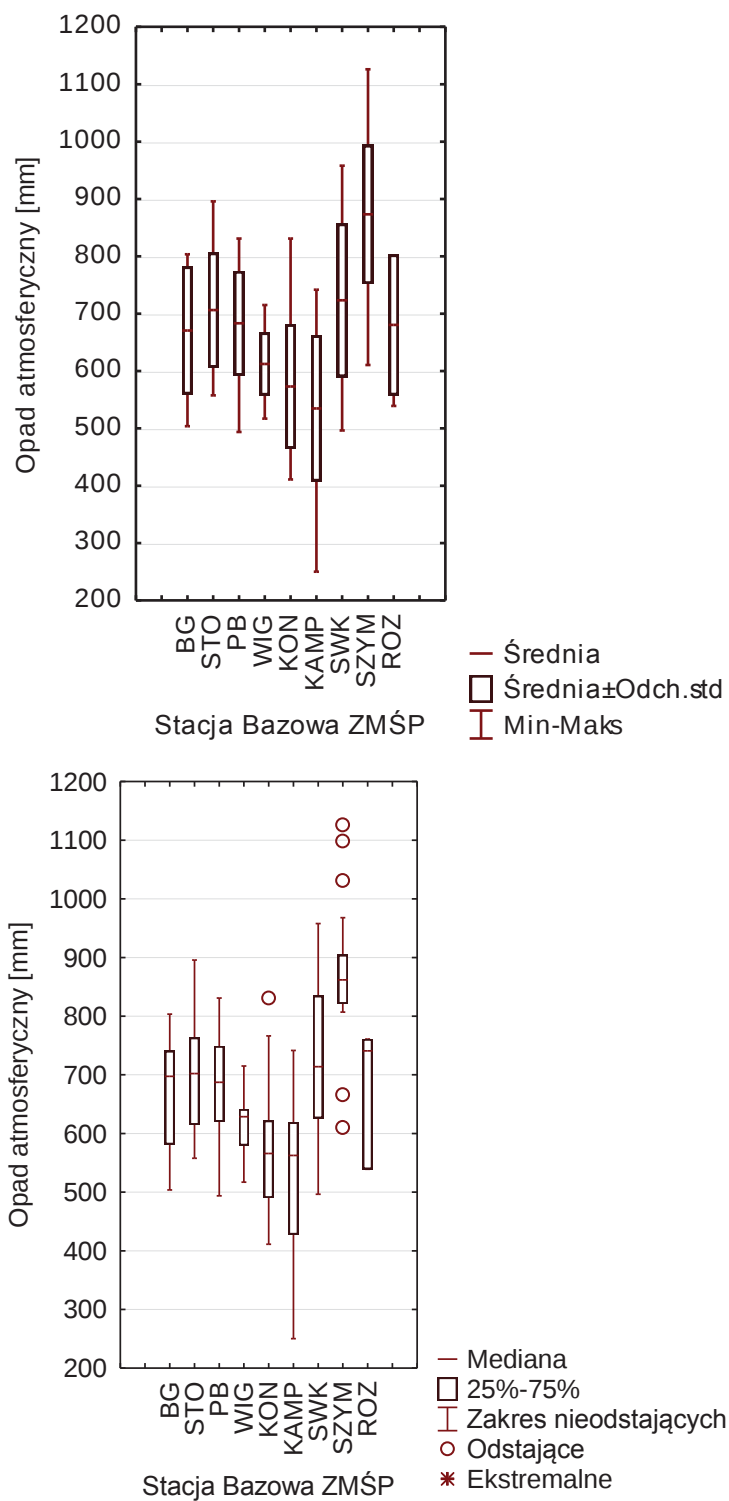
wyjątkowym pod względem termicznym, gdyż we wszystkich Stacjach Bazowych ZMŚP w Polsce rok 2014 (podobnie jak w 2008 roku) był cieplejszy. Należy podkreślić, że Stacja w Białej Górze z zaledwie pięcioletnim okresem obserwacji meteorologicznych oraz Stacja Roztocze działająca od trzech lat nie mogą dokonać takiego zestawienia termicznego ze względu na zbyt krótki okres pomiarowy. Prezentowana klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP ze względu na jeszcze zbyt krótką serię pomiarową nie umożliwia wykazania istotnie statystycznego trendu zmian średniej rocznej temperatury powietrza. Przedstawiony wskaźnik termiczny potwierdza natomiast czasową i przestrzenną zmienność temperatury powietrza, co jest zjawiskiem normalnym dla warunków klimatycznych Polski.

Wzrost kontynentalizmu klimatu w Polsce północnej przejawia się m. in. pewną tendencją spadku rocznej sumy opadów w kierunku wschodnim Średnia roczna suma opadów w strefie młodoglacjalnej maleje, od Storkowa 692 mm i Puszczy Boreckiej 705 mm do Wigier 613 mm (2002-2014). Zmniejszanie się ilości opadów zachodzi również w transekcje południkowym w niżowej części Polski, od Storkowa (692 mm) do Koniczynki (582 mm) i Kampinosu (519 mm), (1995-2014). W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich lokalizacji na obszarach górskich (Święty Krzyż 702 mm i Szymbark 872 mm), (1995-2014).

Statystyki opisowe rocznej sumy opadów w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 8. Największa zmienność opadów występuje w centralnej części Polski (odchylenie standardowe w Kampinosie i na Świętym Krzyżu wynosi 125-135 mm). Największą amplitudę rocznej sumy opadów stwierdzono na południu, w regionach górskich, zwłaszcza w Szymbarku (516 mm).

Tab. 8 Statystyki opisowe rocznej sumy opadów atmosferycznych w Stacjach ZMŚP. 1995-2014 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2014 (Święty Krzyż), 2002-2014 (Wigry), 2009-2014 (Biała Góra), 2012-2014 (Roztocze)

Stacja ZMŚP	Średnia	Ułność -95%	Ułność 95%	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartył	Górný Kwartył	Percentyl 10	Percentyl 90	Rozstęp	Wariancja	Odchylenie Standardowe	Współczynnik zmienności	Skośność	Kurtoza
BG	670,7	553,6	787,8	697,4	503,7	803,5	581,4	740,9	503,7	803,5	299,8	12447	111,6	16,6	-0,53	-0,87
STO	706,2	659,2	753,1	702,1	557,7	895,7	615,0	763,4	578,5	857,6	338,0	10067	100,3	14,2	0,37	-0,70
PB	683,1	640,5	725,8	687,3	493,7	831,0	620,0	748,9	563,3	806,8	337,4	8318	91,2	13,4	-0,25	-0,45
WIG	612,5	579,2	645,7	628,8	517,0	715,2	579,6	641,4	542,6	679,4	198,2	3024	55,0	9,0	0,08	-0,23
KON	573,1	522,3	623,9	565,9	411,1	831,0	490,2	622,0	452,1	741,1	419,9	11773	108,5	18,9	0,80	0,47
KAMP	534,8	475,2	594,4	562,7	250,2	741,7	427,7	619,0	364,8	699,8	491,5	16222	127,4	23,8	-0,47	-0,16
SWK	723,4	652,1	794,7	713,9	496,4	957,9	626,1	834,9	546,8	908,9	461,5	17905	133,8	18,5	0,06	-0,86
SZYM	873,1	816,4	929,8	861,9	610,4	1126,1	821,2	904,6	736,4	1064,9	515,7	14670	121,1	13,9	0,15	1,17
ROZ	680,4	375,4	985,3	740,9	539,1	761,1	539,1	761,1	539,1	761,1	222,0	15069	122,8	18,0	-1,68	



Ryc. 11 Warunki opadowe w Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie rocznych sum opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP. 1995-2014 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2014 (Święty Krzyż), 2002-2014 (Wigry), 2009-2014 (Biała Góra), Roztocze (2012-2014)

Na rycinie 11 przedstawiono zmienność czasową i przestrzenną rocznej sumy opadów atmosferycznych w badanych zlewniach. Warto zaznaczyć, że 1 przypadek odstający stwierdzono w Stacji Koniczynka (2010 rok 763,3 mm) i aż 5 przypadków odstających odnotowano w górskiej Stacji Szymbark. Szymbark co jest typowe dla obszarów górskich cechuje znaczna nieregularność opadów. Występowały tutaj przypadki lat odstających o rocznej sumie wyższej (2001 rok 1031,3 mm; 2010 rok 1126,1 mm i 2014 rok 1098,4 mm) jak i niższej od normy (2003 rok 610,4 mm i 2012 rok 666,0 mm).

Tab. 9 Roczna klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP

Rok kalendarzowy	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Szymbark
1994							
1995							
1996							
1997							
1998							
1999							
2000							
2001							
2002							
2003							
2004							
2005							
2006							
2007							
2008							
2009							
2010							
2011							
2012							
2013							
2014							

Ekstremalnie suchy	Bardzo suchy	Suchy	Normalny	Wilgotny	Bardzo wilgotny	Ekstremalnie wilgotny
--------------------	--------------	-------	----------	----------	-----------------	-----------------------

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność warunków opadowych we wszystkich Stacjach Bazowych (tab. 9). Szczególnie suchy okres przypadł na lata 2000-2006 (poza Wigrami). Lata 2003 i 2006 zadecydowały o największym niedoborze opadów. Okres 2007-2011 charakteryzował się występowaniem rocznych opadów o sumie normalnej bądź wyższej od wartości normalnych, co stanowić mogło o odbudowie zasobów wodnych w zlewniach badawczych. Natomiast lata 2012, 2013 i 2014 pod względem opadowym

cechowały się była bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym. W latach 2012 i 2013 zauważalna była prawidłowość zmniejszonej dostawy wody wraz z opadami atmosferycznymi do zlewni o charakterze górskim, w Stacjach na Świętym Krzyżu i w Szymbarku.

W 2014 roku warunki opadowe w Stacjach Święty Krzyż, Szymbark i Kampinos były korzystne, gdyż był to rok wilgotny a dla Szymbarku bardzo wilgotny. W Stacjach położonych na północy Polski (Storkowo i Puszcza Borecka) 2014 rok charakteryzował się niską sumą opadów atmosferycznych i był to rok suchy. W Stacjach Wigry i Koniczynka 2014 rok był normalny pod względem opadowym. Klasyfikacja opadów w 2014 roku świadczy o dużej niejednorodności przestrzennej opadów, co jest typowe dla klimatu Polski (tab. 9).

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2014 dla Stacji Bazowych położonych w strefie młodoglacjalnej Nizu Polskiego wskazuje na dość niekorzystne zjawisko, które związane jest z niedoborem wody w zlewniach. Dotyczy to zwłaszcza zlewni górnej Parsęty w Storkowie i Jeziora Łękek w Puszczy Boreckiej, gdzie 2014 rok był bardzo ciepły i ciepły oraz suchy (tab. 10). W mniejszym stopniu spadek zasobów wodnych może dotyczyć także zlewni Czarnej Hańczy w Wigrach oraz zlewni Strugi Toruńskiej w Koniczynie, dla których 2014 rok był normalny pod względem opadowym ale bardzo ciepły pod względem termicznym. Lata o podwyższonej termice generują wysoką ewapotranspirację i mogą nie poprawiać retencji wody pomimo znacznej sumy opadów atmosferycznych. Niezbyt sprzyjająca sytuacja (choć względnie najlepsza) pod względem odnowy zasobów wodnych występowała w Stacjach położonych w centralnej i SE Polsce. Dla Kampinosu, Świętego Krzyża a zwłaszcza Szymbarku 2014 rok był wilgotny, ale o ograniczonej odnowie zasobów wodnych mogły zadecydować niekorzystne warunki termiczne, zwłaszcza w Szymbarku (rok anomalnie ciepły) i w Świętym Krzyżu (rok bardzo ciepły). Podwyższona termika w 2014 roku intensyfikowała parowanie i mogła zmniejszyć retencję wody.

Tab. 10 Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2014 roku

Rok kalendarzowy 2014	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Szymbark
Klasyfikacja opadowa	Suchy	Suchy	Normalny	Normalny	Wilgotny	Wilgotny	Bardzo wilgotny
Klasyfikacja termiczna	Bardzo ciepły	Ciepły	Bardzo ciepły	Bardzo ciepły	Ciepły	Bardzo ciepły	Anomalnie ciepły

Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) – Wskaźnik ten został opracowany w Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie (Szpikowski 2006) i analizowany w raportach za lata 2010-2013 (Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013, 2014). Wskaźnik tendencji opadowych oparty jest na różnicach pomiędzy sumą opadu w kolejnym miesiącu, a średnią sumą opadu dla danego miesiąca z całego wielolecia obserwacyjnego. Po utworzeniu szeregu kumulacyjnego obliczonych różnic uzyskuje się ciąg wartości wskazujących na zachodzące w wieloleciu trendy opadowe.

Obliczenie WTO polega na:

- wyliczeniu średniej miesięcznej sumy opadu dla wielolecia, obliczeniu różnic pomiędzy sumą opadu w kolejnych miesiącach wielolecia, a sumą średnią opadu dla tego miesiąca z wielolecia (np. suma opadu z lipca 2014 minus średnia suma opadu dla lipca z wielolecia 1994-2014),
- utworzeniu szeregu kumulacyjnego obliczonych różnic dla kolejnych miesięcy w wieloleciu,
- graficznej prezentacji obliczonego wskaźnika dla każdego miesiąca w wieloleciu.

Jednostką obliczonego wskaźnika WTO są mm. Ważną informacją uzyskiwaną ze wskaźnika jest nie tyle wartość wskaźnika WTO ale jego tendencja do obniżania się lub wzrostu, która jest odbiciem zasobów wodnych w zlewni (Szpikowski 2012).

Przebieg wartości wskaźnika tendencji opadowych dla Stacji Bazowych z okresu 1994-2014 przedstawiono na rycinie 12. Metodyka obliczania WTO pozwala na porównania między sobą tylko tych Stacji Bazowych które mają takie same okresy pomiarowe (Szpikowski 2012). Jednakże dla poglądowego ukazania tendencji opadowych na wykresie umieszczono również Stacje ZMŚP o krótszych seriach pomiarowych – Święty Krzyż (od 1999 r.), Wigry (od 2002 r.) i Biała Góra (od 2009 r.).

Bardzo zbliżony przebieg wskaźnika tendencji opadowych występuje w północnej Polsce, w Stacjach w Storkowie, Puszczy Boreckiej Wigrach oraz w Koniczynie. Położenie powyższych Stacji Bazowych w młodoglacjalnej strefie Nizy Polskiego wpływa na podobną tendencję zmienności czasowej WTO. Dla wymienionych Stacji wskaźnik WTO charakteryzuje się bardzo zmiennym w czasie przebiegiem o charakterze sinusoidalnym, czego przykładem jest dynamika czasowa zmienności cyklicznej WTO w Storkowie. Dla Storkowa maksima wartości wskaźnika wystąpiły głównie w latach 1995, 1999, 2003, 2008, 2010 i 2014 a minima w latach 1996, 2001, 2006 i 2013. Wskaźnik tendencji opadowej jest bardziej „czuły” niż klasyfikacja opadowa na określenie ilości wody dostarczanej do geoekosystemów. Świadczy o tym fakt, iż nawet w latach uznawanych za normalne opadowo w Storkowie (lata 1999-2001) wartość wskaźnika WTO systematycznie malała. W Storkowie

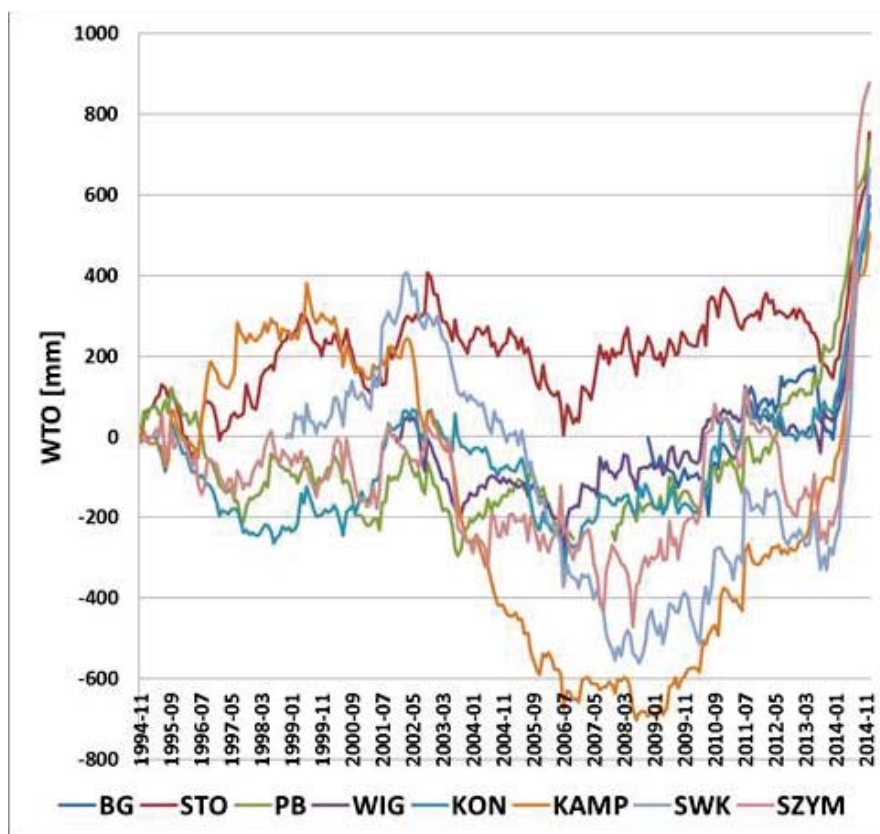
z małą wartością wskaźnika WTO można łączyć posuchy atmosferyczne, które występowały w latach 1994, 2003, 2005 i 2006. W ostatnim okresie nastąpiła poprawa funkcji hydrologicznych w oczkach wodnych przy znacznym udziale odnowy zasobów wodnych pochodzących z pokrywy śnieżnej w sezonach zimowych 2008/2009 i 2009/2010 (Szpikowski 2012). Przebieg wartości wskaźnika WTO dla Koniczynki, Puszczy Boreckiej i Szymbarku wykazuje podobne tendencje zmienności czasowej jak w Storkowie. Można zatem stwierdzić w strefie młodoglacjalnej Nizu Polskiego występowanie około 4. letniej zmienności WTO, gdzie w zlewniach polski północnej obserwowano około 2-4 letnie okresy wzrostu i następnie spadku zasobów wodnych z dostawy atmosferycznej.

Natomiast w strefie staroglacjalnej Nizu Polskiego, w Kampinosie przebieg wskaźnika WTO jest znacznie bardziej nieregularny i posiada nieznacznie dłuższy cykl zmienności – około 6-7 letni. Dla Kampinosu nadwyżka wody występowała w latach 1996-2003 a znaczny deficyt wody obserwowano od 2005 do 2010 roku. Od 2010 roku można zauważyć odbudowę zasobów wodnych w zlewni Kanału Olszowieckiego, kiedy wskaźnik WTO posiada tendencję wzrostową.

W strefie geoekosystemów górskich (Święty Krzyż, Szymbark) przebieg wskaźnika posiada również około 3-5 letnią cykliczność, ale lata wzrostu czy spadku zasobów wodnych nie są zbliżone do tendencji obserwowanych w Polsce północnej. Od 2011 roku obserwowany jest spadek atmosferycznej dostawy wody w Stacji w Szymbarku, co mogło wpływać na pogorszenie ilości i jakości zasobów wodnych w zlewni Bystrzanki.

Zmienność czasowa opadów na Stacjach Bazowych ukazuje duży udział pokrywy śnieżnej w latach 2010-2012 w odnawianiu zasobów wodnych, co potwierdza prawidłowości, że o retencji wodnej decydują opady półrocza zimowego związane z zasilaniem śnieżnym. Ze względu na znaczną ewapotranspirację występujące w półroczu letnim bardziej wydajne opady nie poprawiają zasobów wodnych w zlewniach.

W 2014 roku przebieg wskaźnika WTO dla wszystkich Stacji ZMŚP odzwierciedlał tendencję do odbudowy zasobów wodnych w zlewniach. Na korzystną tendencję opadową w badanych zlewniach wpłynęły względnie wydajne i równomiernie rozłożone opady w poszczególnych miesiącach 2014 roku, które zmieniły wartości średniej miesięcznej sumy opadów dla badanego wielolecia i pośrednio wpłynęły na pozytywną tendencję odbudowy zasobów wodnych w ostatnim roku.



Ryc. 12 Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) dla Stacji Bazowych ZMŚP (1994-2014)

Korzystna tendencja wzrostu wskaźnika WTO w 2014 roku może przełożyć się na poprawę zasobów wodnych w zlewniach ZMŚP w następnym roku pomiarowym. Zwiększona dostawa wody w 2014 roku przejawiająca się wzrostem wskaźnika WTO może w dłuższej perspektywie czasowej spowodować wzrost zasobów wód podziemnych (infiltracja wód opadowych) i zwiększony odpływ powierzchniowych wód rzecznych (drenaż wód podziemnych). Czas reakcji między wodami opadowymi, wodami podziemnymi i wodami powierzchniowymi wynika z lokalnych uwarunkowań krążenia wody w zlewniach ZMŚP, np. w zlewni Lewińskiej Strugi (Stacja Biała Góra na wyspie Wolin) czas krążenia wody od strefy alimentacji (opad atmosferyczny) poprzez główny obszar wodonośny (wody podziemne) do strefy drenażu (odpływu fluwialny) wynosi około 70 lat, przy średniej prędkości filtracji 50 m/s (Gurwin, Krawiec 2012).

7. WYBRANE GEOWSKAŹNIKI JAKOŚCIOWE OBIEGU WODY W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP

Przedstawione poniżej geowskaźniki zostały zaproponowane w syntetycznych opracowaniach raportów ZMŚP przez Szpikowskiego (2011, 2012) oraz stanowią kontynuację raportów za 2012 i 2013 rok (Tylkowski 2013, 2014).

W określeniu prawidłowości funkcjonowania badanych geoekosystemów ZMŚP bardzo ważne 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 autochtonicznego krążenia wody (wewnątrz zlewni ZMŚP) umożliwia określenie ich wpływu (poprzez transport fluwialny) w kształtowaniu chemizmu wód powierzchniowych badanej zlewni i kształtowaniu dostawy ładunku substancji rozpuszczonych do geoekosystemów zewnętrznych (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 11 geowskaźników charakteryzujących atmosferyczną dostawę wody i jakościowe właściwości wód krążących w badanych geoekosystemach.

Wskaźniki jakości opadów atmosferycznych:

- klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych,
- wskaźnik pH opadów atmosferycznych,
- wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów,
- regionalne zróżnicowanie jakości opadów atmosferycznych – wskaźnik chlorkowo-sodowy.

Wskaźniki jakości wód podziemnych:

- azot azotanowy N-NO₃,
- siarka siarczanowa S-SO₄.

Wskaźniki jakości wód powierzchniowych

- azot azotanowy N-NO₃,
- siarka siarczanowa S-SO₄,
- wskaźniki eutrofizacji wód powierzchniowych (Pog., N-NO₃, NO₃).

Wskaźniki obiegu wody w zlewni:

- bilans jonowy siarki siarczanowej S-SO₄ i azotu azotanowego N-NO₃ (czynników kwasogennych),
- bilans jonów denudacyjnych i biogennych.

Wskaźniki jakości opadów atmosferycznych

Opady atmosferyczne cechuje przeważnie niska mineralizacją i obniżony odczyn. Skład chemiczny opadów atmosferycznych kształtowany jest m.in. przez jakość powietrza atmosferycznego. W zlewniach badawczych ZMŚP obserwowane jest wyraźne zróżnicowanie fizykochemicznych właściwości opadów atmosferycznych, które związane jest ze zróżnicowanym czasowo-przestrzennym oddziaływaniem zarówno czynników naturalnych jak i 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 geoekosystemach Polski. W zakresie przewodności elektrolitycznej wskaźnik jest podzielony na 6 klas jakościowych (tab. 11). W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych zawiera 5 klas jakościowych (tab. 12), (Szpikowski 2012).

Tab. 11 Klasyfikacja wód opadowych - przewodność elektrolityczna SEC (Jansena i in. 1988)

średnia roczna ważona przewodność elektrolityczna SEC [mS m ⁻¹]	klasa przewodności wód opadowych
SEC ≤ 1,5	nieznaczna
1,5 < SEC ≤ 3,0	lekko podwyższona
3,0 < SEC ≤ 4,5	znacznie podwyższona
4,5 < SEC ≤ 6,0	mocno podwyższona
6,0 < SEC ≤ 10,0	silnie podwyższona
SEC > 10,0	bardzo silnie podwyższona

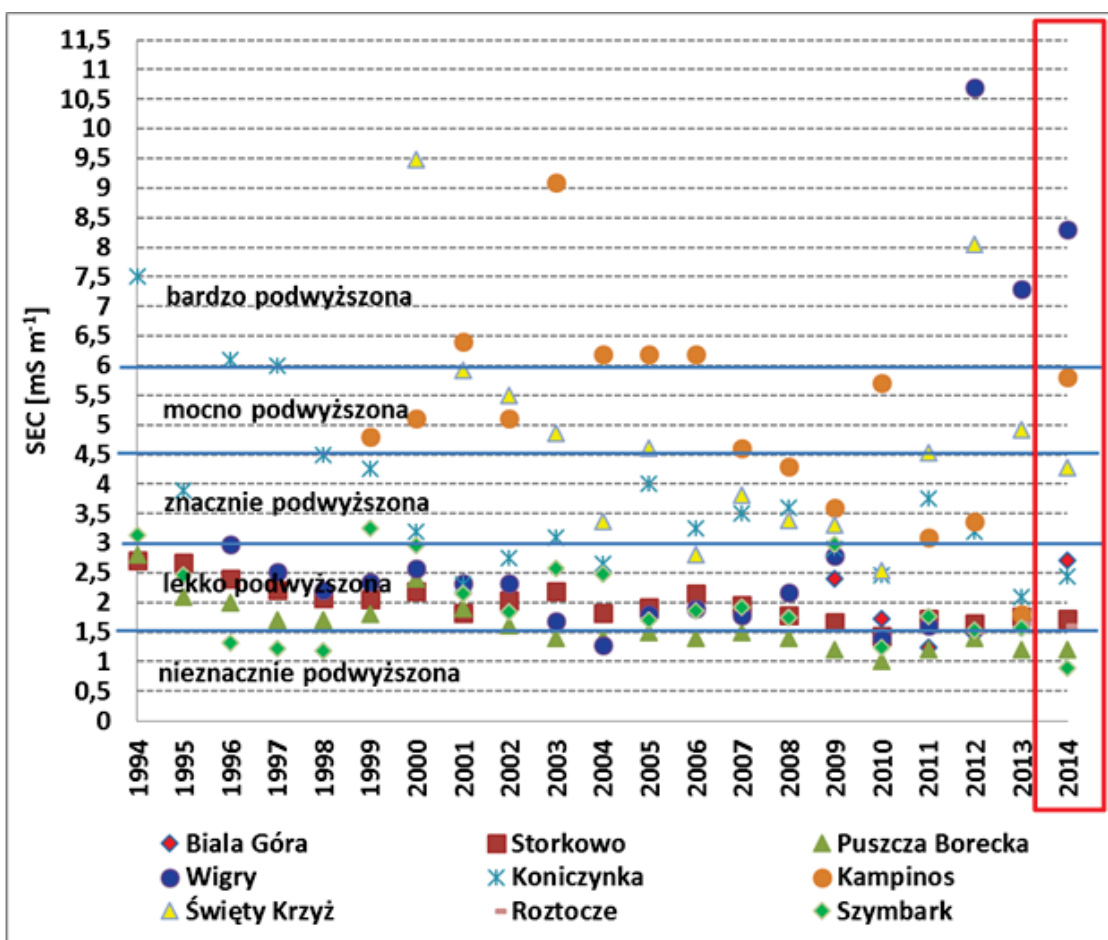
Tab. 12 Klasyfikacja wód opadowych - odczyn pH (wg Jansena i in. 1988)

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

Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów atmosferycznych w 2014 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej (ryc. 13) charakteryzował się następującymi właściwościami:

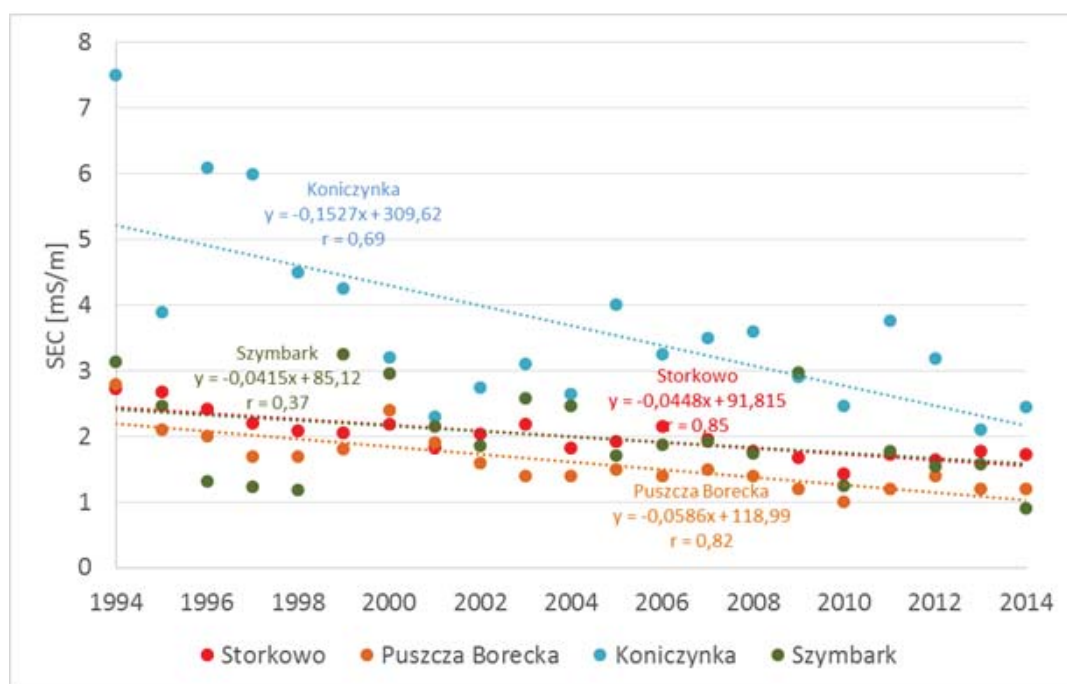
- przewodność nieznaczna – stwierdzono w 2 Stacjach: Puszczy Boreckiej i Szymbarku
- przewodność lekko podwyższona – stwierdzono w 4 Stacjach Bazowych: Biała Góra, Storkowo, Koniczynka i Roztocze,
- przewodność znacznie podwyższona - stwierdzono w Świętym Krzyżu,
- przewodność mocno podwyższona – stwierdzono w Kampinosie,
- przewodność bardzo podwyższona – stwierdzono w Wigrach.

Generalnie jakość opadów atmosferycznych w 2014 roku w porównaniu z ubiegłym rokiem nie uległa zmianie, gdyż 6 Stacji mieściło się w zakresie mineralizacji opadów nieznacznie lub lekko podwyższonej. Tylko w Stacji na Świętym Krzyżu, Kampinosie i Wigrach wartość SEC wykazywała wysokie wartości. W 2014 roku klasa przewodności opadów pogorszyła się w Kampinosie (z lekko podwyższonej w 2013 roku do mocno podwyższonej w 2014 roku) a poprawiła się w Świętym Krzyżu (z mocno podwyższonej w 2013 roku do znacznie podwyższonej w 2014 roku) i Szymbarku (z lekko podwyższonej w 2013 roku do nieznacznej w 2014 roku). Zastanawiająca jest przyczyna bardzo podwyższonej wartości SEC w Stacji w Wigrach, która utrzymuje się od 2012 roku.



Ryc. 13 Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2014 roku hydrologicznym na tle wielolecia

Wieloletni (1994-2014) przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej dla większości Stacji Bazowych wskazuje na korzystny trend obniżania się stężenia substancji rozpuszczonych w wodach opadowych. Niekorzystna sytuacja występowała jedynie w NE Polsce, na Stacji w Wigrach. Istotny statystycznie trend ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano jedynie dla Stacji posiadających bardzo długie serie pomiarowe, tj. dla Storkowa, Puszczy Boreckiej, Szymbarku i Koniczynki (ryc. 14). Trend 10. letni spadku SEC wynosi 0,4 mS/m w Storkowie i Szymbarku, 0,6 mS/m w Puszczy Boreckiej, 0,5 mS/m w Szymbarku i 1,4 mS/m w Koniczynce.

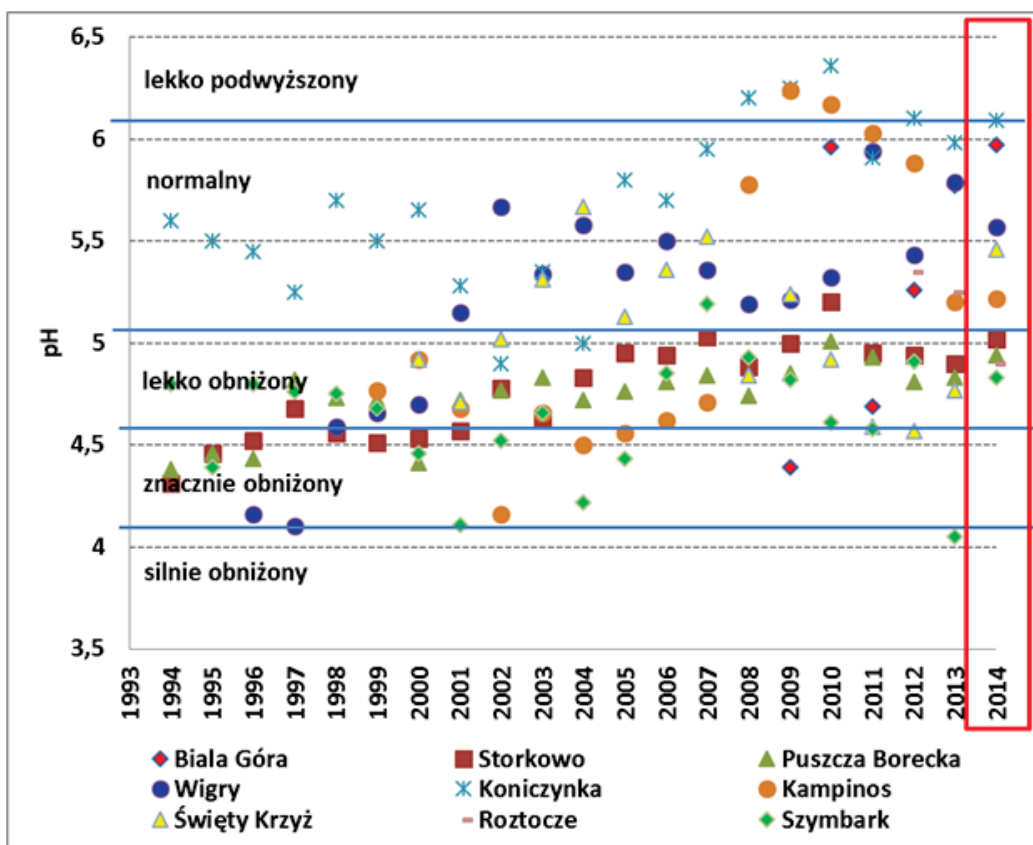


Ryc. 14 Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka i Szymbark

Zakwaszenie wód opadowych w 2014 roku w Stacjach ZMŚP można zaliczyć do klas:

- pH lekko obniżone – stwierdzono w 4 Stacjach: Storkowo, Puszcza Borecka, Rostocze i Szymbarku
- pH normalne – stwierdzono w 5 Stacjach: Biała Góra, Wigry, Koniczynka, Kampinos i Świętym Krzyżu.

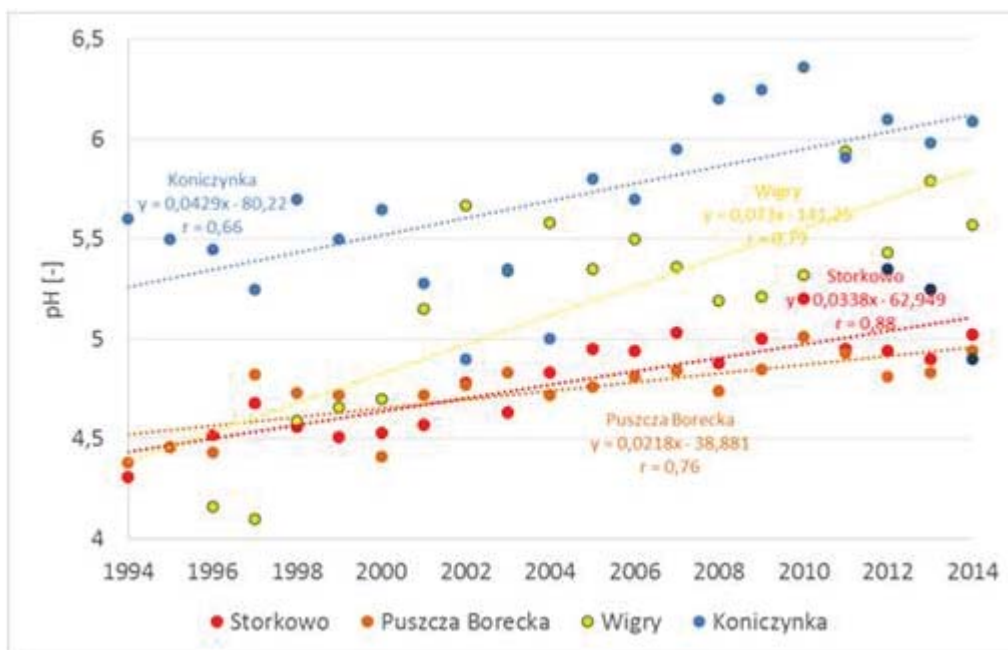
Odczyn opadów atmosferycznych w 2014 roku w porównaniu z poprzednim rokiem uległ wyraźnej poprawie (ryc. 15). W pięciu Stacjach opady zaliczono do klasy normalnej a w czterech odczyn opadów atmosferycznych zakwalifikowano jako lekko obniżony. W 2014 roku klasa odczynu opadów pogorszyła się na Stacji Rostocze (z normalnego w 2013 roku do lekko obniżonego w 2014 roku) a poprawiła się w Świętym Krzyżu (z lekko obniżonego w 2013 roku do normalnego w 2014 roku) i Szymbarku (z silnie obniżonego w 2013 roku do lekko obniżonego w 2014 roku).



Ryc. 15. 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 zwiększania wartości pH w Stacjach Bazowych ZMŚP. Istotny statystycznie trend poprawy jakości odczynu opadów ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano dla Storkowa, Puszczy Boreckiej, Wigier i Kampinosu (ryc. 16). Trend 10. letni spadku kwasowości wynosi 0,40 pH dla Koniczynki 0,38 dla Storkowa, 0,19 pH dla Puszczy Boreckiej, 1,19 pH dla Wigier.

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. 15). W XXI wieku odczyn wzrósł do lekko obniżonego lub normalnego. Pod względem czasowo-przestrzennym największy progres odczynu opadów odnotowano w Stacji Kampinos, na co m. in. wpłynęła poprawa jakości powietrza atmosferycznego w aglomeracji warszawskiej. Natomiast nie można stwierdzić tendencji zmiany odczynu opadów Stacji Szymbark i Święty Krzyż (ryc. 15).



Ryc. 16 Istotnie statystycznie trendy wzrostu pH (spadku kwasowości) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry i Koniczynka

Wskaźnik pH opadów atmosferycznych – do obliczenia tego wskaźnika konieczne jest obliczenie częstości występowania opadów o określonym pH w danym roku pomiarowym (Kostrzewski i inni 2007). W nawiązaniu do klasyfikacji Jansena i in. (1988) i metodyk ZMŚP (Śnieżek 2001) można wydzielić opady o różnych klasach odczynu (tab. 14). Zasadnicze znaczenie ma przy ocenie jakości opadów atmosferycznych ich zakwaszenie, które doprowadza do negatywnych przemian w środowisku glebowym oraz roślinnym i zwierzęcym. Wskaźnik pH opadów atmosferycznych (WpH) przedstawia się dla danego okresu pomiarowego (roku) jako stosunek udziału opadów o pH silnie obniżonym do udziału opadów o pH normalnym. Mniejsza wartość liczbową wskaźnika wskazuje na pozytywną zmianę i większy udział opadów czystych i nie zanieczyszczonych (Szpikowski 2012).

$$WpH = FP(pH < 4,1) / FP(pH 5,1-6,1)$$

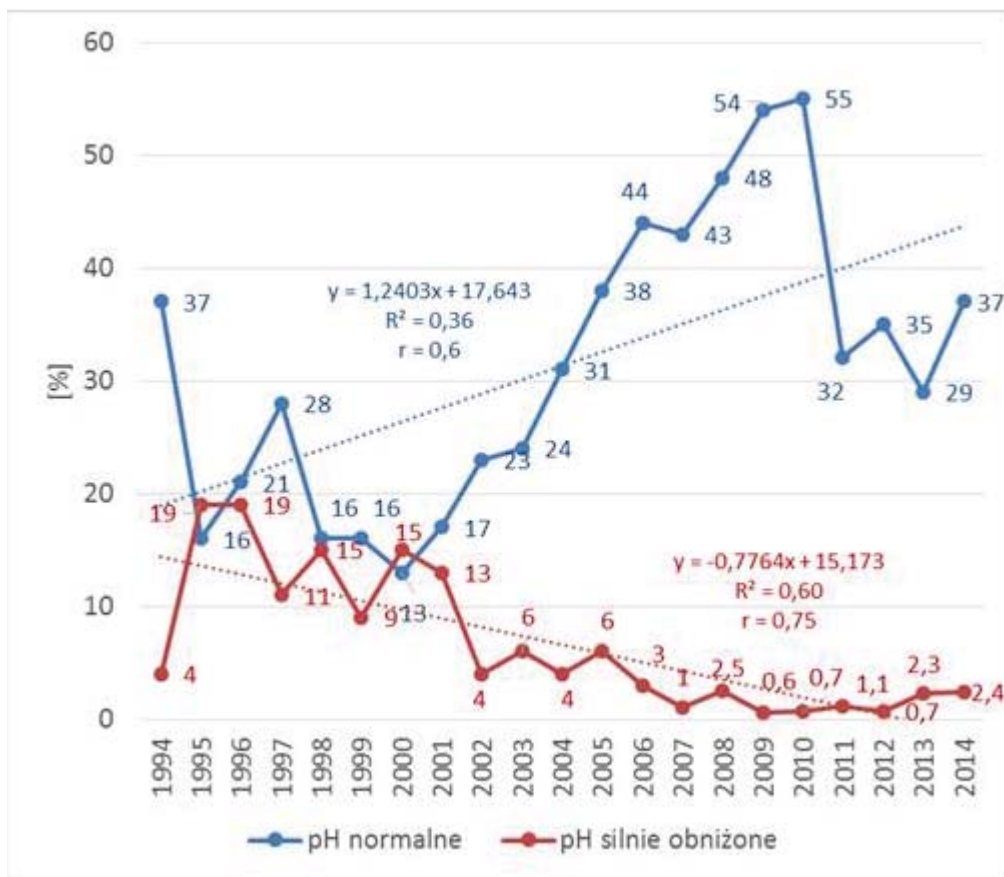
WpH – wskaźnik pH opadów atmosferycznych [-]

FP(pH < 4,1) – frekwencja (roczna) opadów o pH silnie obniżonym [%]

FP(pH 5,1-6,1) – frekwencja (roczna) opadów o pH normalnym [%]

Analiza wskaźnika pH dobrze oddaje poprawę jakości wód opadowych w ponad dwudziestoletnim czasie funkcjonowania programu ZMŚP. Ogólny trend zmniejszania zakwaszenia wód opadowych i zawartości składników rozpuszczonych jest m. in. efektem polepszającej się jakości powietrza. W wyniku poprawy jakości powietrza coraz rzadziej

pojawiają się opady o silnym zakwaszeniu - o silnie obniżonym odczynie poniżej 4,1 pH (ryc. 17).

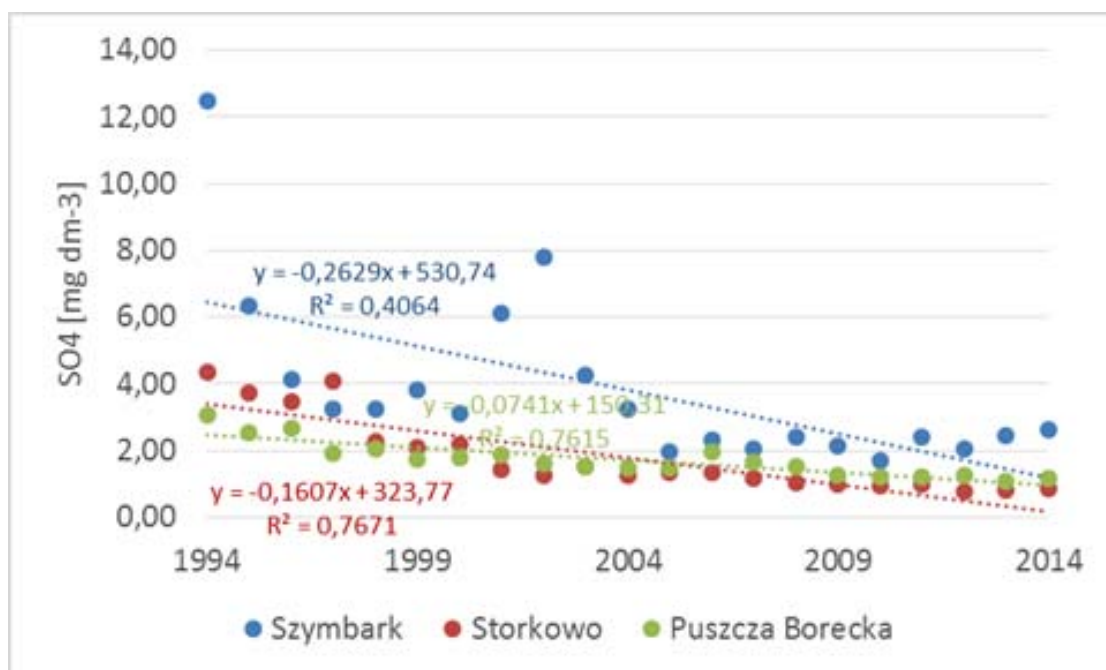


Ryc. 17. Udział opadów o odczynie normalnym i silnie obniżonym w Storkowie w okresie 1994-2014

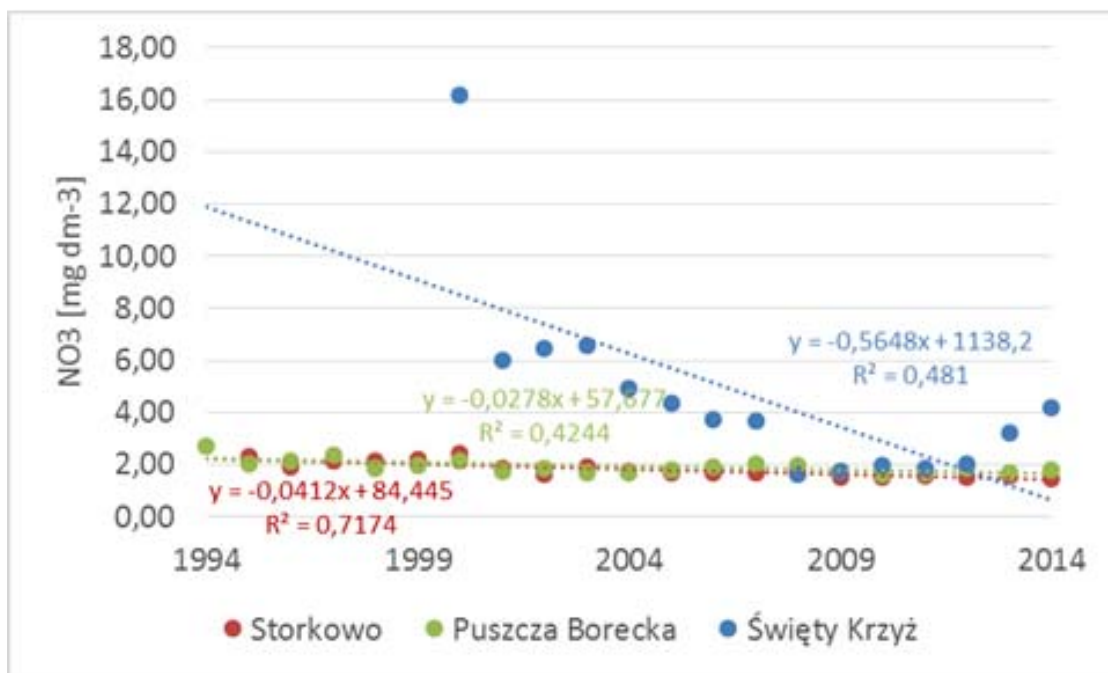
Na przykładzie odczynu wód opadowych w Stacji w Storkowie (ryc. 17) zauważalna jest istotna statystycznie ($p < 0,05$ test Mann-Kendalla) prawidłowość spadku od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku udziału dni z opadami o odczynie silnie obniżonym ($\text{pH} < 4,1$) i wzrostu udziału dni z opadami o odczynie normalnym ($5,1 < \text{pH} < 6,1$). Do 2001 roku udział dni o opadzie silnie obniżonym wynosił kilkanaście procent. W kolejnych latach wartość ta nie przekraczała 10% a od roku 2006 roku ich frekwencja wynosiła poniżej 3%. W 2014 roku udział opadów o odczynie silnie obniżonym wynosił 2,4% i był podobny jak w roku ubiegłym. W ostatnich 20 latach wzrósł udział dni z opadami o odczynie normalnym – do ponad 30% od 2006 roku. W 2014 roku ten udział wynosił 37% i był o 8% większy niż w 2013 roku.

Główną przyczyną spadku kwasowości wód opadowych w okresie 1994-2013 było ograniczanie emisji do atmosfery dwutlenku siarki – gazu pochodzącego w największym stopniu ze spalania paliw kopalnych i uważanego za główny czynnik kwasotwórczy opadów

atmosferycznych. Zmniejszająca się koncentracja SO_2 w atmosferze przekładała się na wzrost odczynu opadów atmosferycznych i równocześnie na spadek stężenia siarczanów w wodach opadowych. W 2014 roku w porównaniu z połową lat dziewięćdziesiątych XX wieku stężenie siarczanów w opadach w strefie młodoglacjalnej spadło 3-4 krotnie, zwłaszcza w Polsce Północnej w Storkowie i w Puszczy Boreckiej. Na Świętym Krzyżu 2. krotny spadek notowano od 2001 roku. Istotny statystycznie ($p < 0,05$) spadek siarczanów w opadach atmosferycznych stwierdzono tylko w Storkowie (1,4 mg/10 lat), Puszczy Boreckiej (0,7 mg/10 lat) i Szymbarku (2,3 mg/10 lat), (ryc. 18).



Ryc. 18 Zmienność czasowa stężenia jonów siarczanowych w opadach atmosferycznych w Stacjach ZMŚP Storkowo, Puszcza Borecka i Szymbark (1994-2014)



Ryc. 19 Zmienność czasowa stężenia jonów azotanowych w opadach atmosferycznych w Stacjach ZMŚP Storkowo, Puszcza Borecka, Święty Krzyż i Szymbark (1994-2014)

Drugim głównym czynnikiem powodującym zakwaszenie wód opadowych są tlenki azotu, których głównym źródłem jest spalanie paliw płynnych. Odzwierciedleniem ograniczenia emisji tlenków azotu są malejące stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych (ryc. 19). Istotny statystycznie spadek azotanów ($p < 0,05$) stwierdzono w Storkowie (0,3 mg/10 lat), Puszczy Boreckiej (0,2 mg/10 lat) i Świętym Krzyżu (5,2 mg/10 lat). Spadek stężeń azotanów nie jest tak duży jak w przypadku siarczanów.

Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów. 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}]

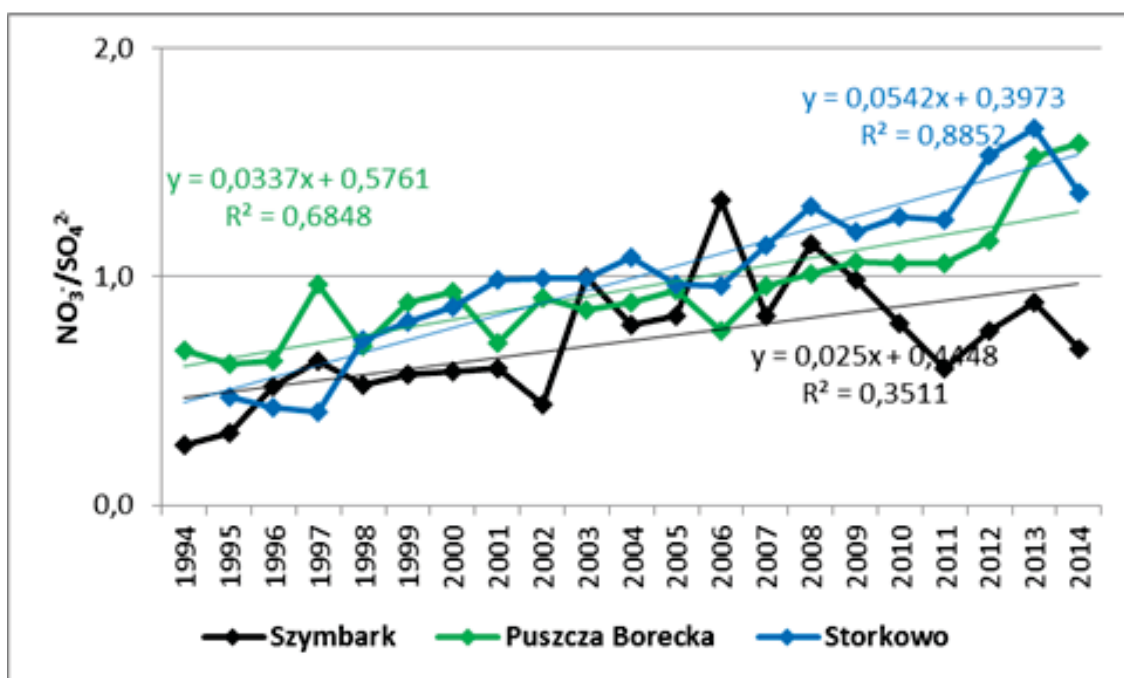
Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych upoważniają do wykorzystywania jako wskaźnika kwasogennego stężeń jonów azotanowych i siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w

jakości powietrza atmosferycznego oraz opadów, co wywiera wpływ na jakość kolejnych etapów obiegu wody – wód podziemnych i powierzchniowych.

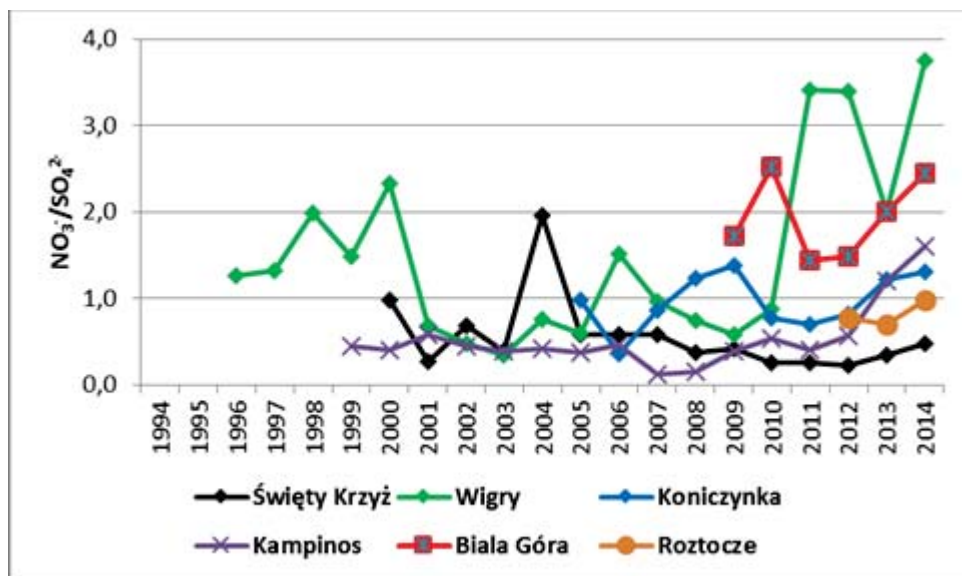
Za kwasowość opadów atmosferycznych w około 60-70% odpowiada dwutlenek siarki, zaś tlenki azotu za pozostałe 30-40% (Isidorow, Jaroszyńska 1998).

Zmienność czasowa wskaźnika udziału czynników kwasogennych dla Stacji Bazowych ZMŚP wykazuje:

- istotny statystycznie wzrost udziału tlenków azotu w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Storkowo i Puszcza Borecka i dwutlenku siarki w Szymbarku (dla lat 1994-2014), (ryc. 20),
- przewagę NO_3 nad SO_2 w zakwaszaniu opadów w Storkowie w ostatnich 8 latach a w Puszczy Boreckiej, w ostatnich 7 latach (ryc. 20).
- większy w 2014 roku udział NO_3 w zakwaszaniu opadów niż SO_2 w Stacjach: Biała Góra, Koniczynka, Wigry i Kampinos (ryc. 21).
- większy udział SO_2 w zakwaszaniu opadów w Stacjach: Roztocze i Święty Krzyż (ryc. 21).

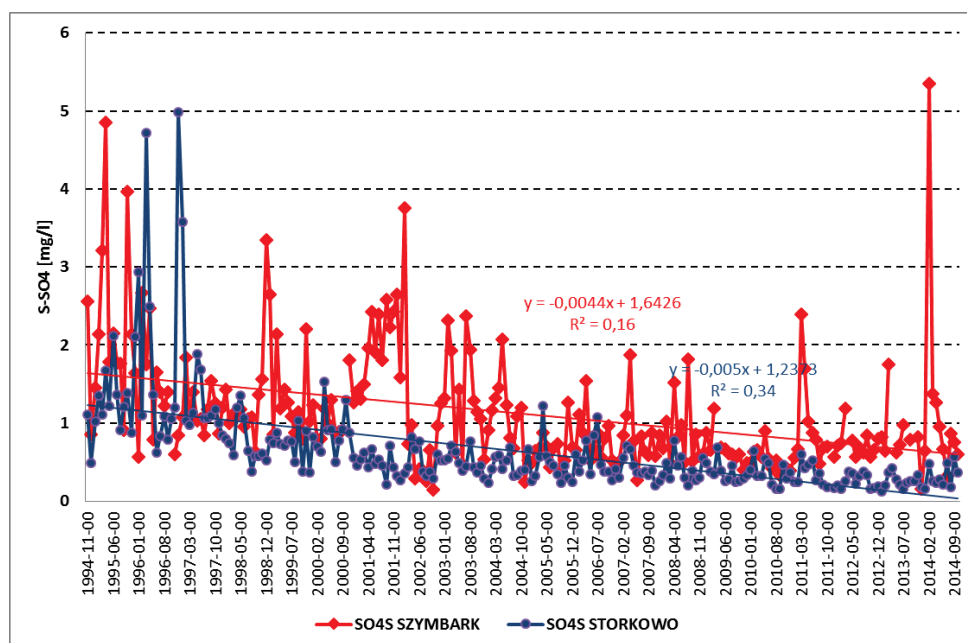


Ryc. 20 Istotnie statystycznie zmienność czasowa udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka, Storkowo i Szymbark



Ryc. 21 Zmiany udziału wskaźnika czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Biała Góra, Wigry, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż i Roztocze

Analiza wieloletniej (1994-2014) serii pomiarowej stężenia azotu azotanowego i siarki siarczanowej w opadach atmosferycznych wykazała trendy spadkowe stężeń tych czynników kwasogennych. Istotny statystycznie spadek stwierdzono tylko dla jonów siarczanowych ($p < 0,05$ test Mann-Kendalla) wyłącznie dla Storkowa ($0,57 \text{ mg S-SO}_4/10 \text{ lat}$) i Szymbarku ($0,62 \text{ mg S-SO}_4/10 \text{ lat}$). Należy podkreślić, że trendy obniżania się stężenia azotanów w opadach atmosferycznych są wyraźnie niższe niż siarczanów (ryc. 22).



Ryc. 22 Istotny statystycznie spadek stężenia S-SO₄ w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach ZMŚP Storkowo i Szymbark (1994-2014)

Regionalne zróżnicowanie jakości opadów atmosferycznych – wskaźnik chlorkowo-sodowy

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/dm³). 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 i ich udziału w składzie chemicznym wód opadowych w 2014 roku przedstawiono dla transektu południkowego (Niziny: strefa młodoglacjalna - pobrzeży i pojezierzy, strefa staroglacjalna; Wyżyny i Góry) oraz dla transektu równoleżnikowego (strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego). Transekt „równoleżnikowy” odzwierciedla zmienność chlorków i sodu w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego wraz z oddalaniem się do Morza Bałtyckiego (Stacje ZMŚP: Biała Góra → Storkowo → Puszcza Borecka → Wigry). W transekcje „południkowym” obejmującym Stacje: Biała Góra → Storkowo → Koniczynka → Kampinos → Święty Krzyż → Roztocze → Szymbark stężenie i udział jonów chlorkowych i sodowych powinien ulegać wyraźnej redukcji w miarę oddalania się od Bałtyku (ryc. 23).



Ryc. 23 Przestrzenna zmienność stężenia Cl⁻ i Na⁺ i ich udziału w składzie chemicznym wód opadowych stref krajobrazowych Polski, w Stacjach ZMŚP w 2014 roku

W 2014 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 transekcie równoleżnikowym jak i południkowym.

W transekcie równoleżnikowym, w strefie młodoglacjalnej Nizu Polskiego występował spadek stężenia sodu w opadach – od 1,52 mg/dm³ w Białej Górze, 0,43 mg/dm³ w Storkowie do 0,18 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej. Dla chlorków spadek stężenia jest również zauważalny w miarę oddalania się od morza – od 2,75 mg/dm³ w Białej Górze, 0,55 mg/dm³ w Storkowie do 0,42 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej. Jedynie w Wigrach stwierdzono bardzo wysokie stężenie jonów chlorkowych 5,91 mg/dm³ i wysokie stężenie jonów sodowych 0,56 mg/dm³, co świadczyć może dostawie tych jonów wskutek działalności człowieka i zanieczyszczeniu antropogenicznym opadów atmosferycznych (ryc. 23).

W transekcie południkowym stwierdzono wyraźny spadek stężenia tylko jonów sodowych, od pasa Pobrzeży (Biała Góra 1,52 mg/dm³), poprzez pas Pojezierzy (Storkowo 0,43 mg/dm³ i Koniczynka 0,35 mg/dm³), następnie w strefie staroglacjalnej (Kampinos 0,21 mg/dm³) i wyżynnej (Roztocze 0,31 mg/dm³) aż po strefę gór (Szymbark 0,18 mg/dm³). W przypadku jonów chlorkowych tendencja spadku stężenia tego jonu w opadach atmosferycznych wraz z oddalaniem się od morza została zaburzona w środkowej Polsce, zwłaszcza na Stacjach Koniczynka, Kampinos i Święty Krzyż, co może świadczyć o zanieczyszczeniu antropogenicznym. 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. Najbardziej zanieczyszczone opady odnotowano zwłaszcza na Świętym Krzyżu, gdzie stężenia chlorków i sodu są dwa razy wyższe niż w regionie nadmorskim. Powyższa prawidłowość występowała również w latach 2012 i 2013. W 2014 roku wskaźnik chlorkowo-sodowy generalnie przedstawiał gorszy stan opadów atmosferycznych w Polsce w porównaniu z poprzednim rokiem, czego przejawem były wielokrotnie wyższe 30% stężenia jonów Na i Cl (zwłaszcza na Stacji Wigry i Święty Krzyż). Poprawa jakości opadów w zakresie wskaźnika chlorkowo-sodowego wystąpiła tylko w Stacji Roztocze, a pogorszenie stanu opadów stwierdzono w Kampinosie i Koniczynie.

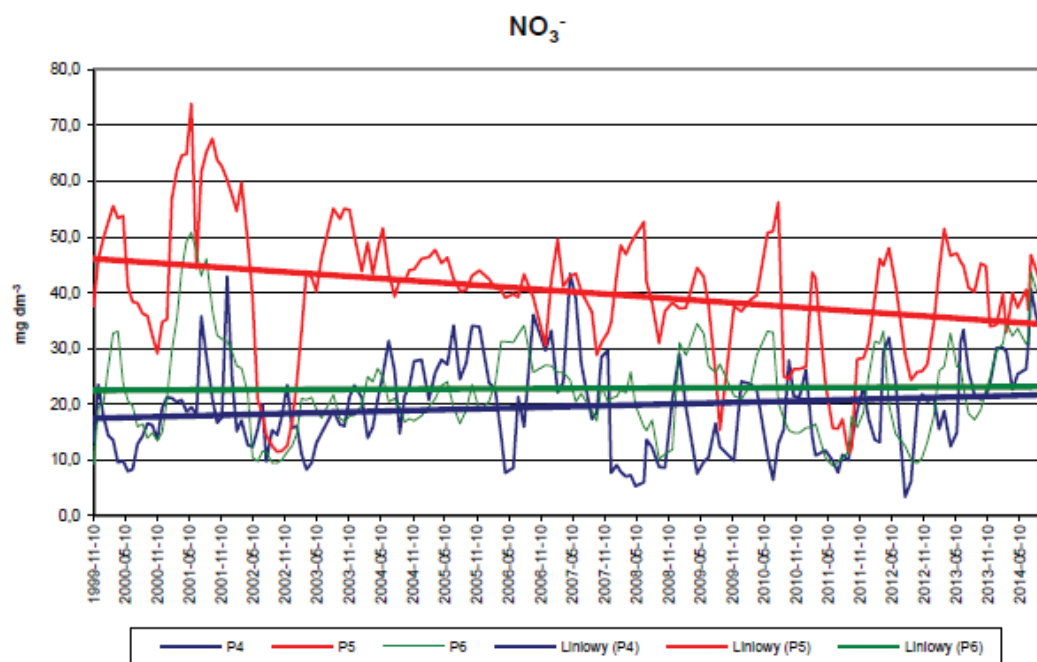
Wskaźniki jakości wód podziemnych

Przebieg zmienności stężenia składników biogenych wód podziemnych w badanym wieloleciu umożliwia wyznaczenie pewnych trendów, które jednakże nie wykazują wyraźnej kierunkowej tendencji dla większych jednostek przestrzennych, np. stref krajobrazowych. Trendy zmian stężenia jonów fosforanowych, azotanowych i amonowych w dużej mierze uzależnione są od lokalnych warunków hydrogeologicznych i meteorologicznych w badanych zlewniach. Dlatego m. in. nie stwierdzono istotnie statystycznej prawidłowości zmian stężenia biogenów w ujęciu regionalnym, np. dla strefy młodoglacjalnej Niżu Polskiego.

Azotany NO₃

Związki azotu należą do podstawowych źródeł zanieczyszczeń wód podziemnych. Głównym źródłem dostawy azotu do wód podziemnych są infiltrujące do warstw wodonośnych opady atmosferyczne oraz działalność człowieka związana np. z wykorzystaniem nawozów azotowych w rolnictwie.

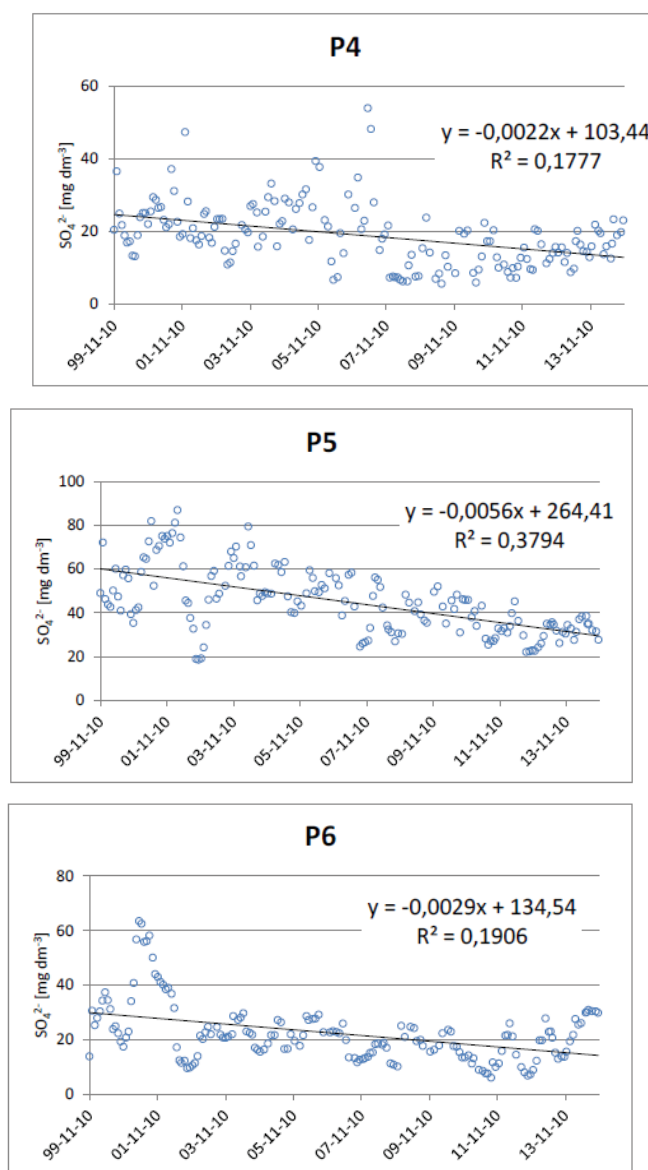
Dla większości badanych wód podziemnych w Stacjach ZMŚP obserwowany jest trend spadkowy stężenia azotu azotanowego, co należy korelować z zmniejszającym się zanieczyszczeniem powietrza i opadu atmosferycznego. Wyraźną tendencję obniżenia stężenia azotanów w wodach podziemnych można zaobserwować w Świątym Krzyżu oraz w Szymbarku. W zlewniach o użytkowaniu rolnym można jednakże zauważyć słabą tendencję wzrostu stężenia azotanów, np. w Koniczynie. Bardzo ważne jest rozpoznanie uwarunkowań lokalnych decydujących w znacznej mierze o tendencji zmian stężenia jonów azotanowych, np. dla Storkowa wody podziemne monitorowane są w 3 piezometrach, w obrębie pierwszej i tej samej warstwy wodonośnej (wody z piezometru P5 na środku zbocza, z piezometru P6 w strefie wododziałowej i z piezometru P4 w dolnej części zbocza). Wody tej samej warstwy wodonośnej charakteryzują się odmiennym trendem stężenia NO_3^- w zależności od umiejscowienia piezometru i możliwości szybkiej infiltracji wód opadowych i dopływu wody ze strefy aeracji. Trendy ukazują spadek stężeń azotanów w wodach z ujęcia P5, wzrost dla ujęcia P6 oraz wyrównane wartości w piezometrze P4 (ryc. 24).



Ryc. 24 Zmiana stężenia azotanów w wodach podziemnych w zlewni górnej Parsęty (Stacja w Storkowie) w latach hydrologicznych 2000-2014

Siarczany SO₄

Siarka w wodach podziemnych pochodzi z depozycji atmosferycznej oraz jest wynikiem procesów geochemicznych zachodzących w profilu glebowym. W zdecydowanej większości badanych zlewni stwierdzono spadek stężenia siarczanów w wodach podziemnych, które są skutkiem zmniejszania się ilości siarki w powietrzu i opadach atmosferycznych. Istotne statystycznie zmniejszanie się stężeń siarczanów ($p < 0,05$ test Mann-Kendalla) stwierdzono m. in. w wodach podziemnych w zlewniach Czarnej Hańczy i górnej Parsęty. Tendencje zmian stężenia siarczanów w mniejszym stopniu uzależnione są od warunków lokalnych, np. dla Storkowa w zlewni górnej Parsęty stwierdzono trend spadku stężenia SO₄, niezależnie od lokalizacji piezometru (ryc. 25).



Ryc. 25 Zmiana stężenia siarczanów w wodach podziemnych w zlewni górnej Parsęty (Stacja w Storkowie) w latach hydrologicznych 2000-2014

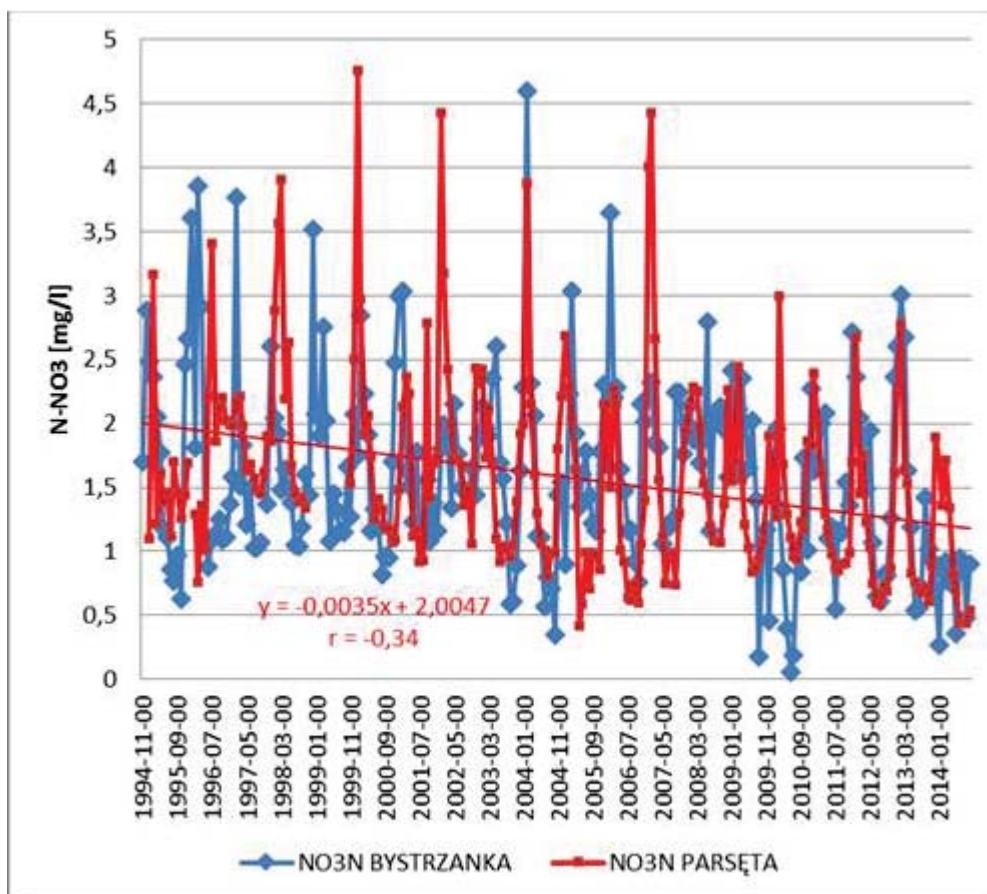
Wskaźniki jakości wód powierzchniowych

W 2014 roku we wszystkich Stacjach ZMŚP prowadzono monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych z badanych zlewni rzecznych. Jednakże dla Kanału Olszowieckiego (Stacja Kampinos) i dla odpływu z Jeziora Łękuk (Stacja Puszcza Borecka) niemożliwe było sporządzenie pełnego zakresu wskaźników hydrologicznych i ładunku materii rozpuszczonej, ze względu na zakłócenia odpływu wody w ciekach. Zakłócenia spowodowane były działalnością bobrów, np. dla Kanału Olszowieckiego tama bobrowa, zlokalizowana około 500 m poniżej profilu wodowskazowego doprowadziła do pojawienia się w kwietniu i maju cofki utrudniającej odpływ wody a następnie do zupełnego zahamowania odpływu w czerwcu i kolejnych miesiącach. Taka sytuacja stanowi przykład naturalnej działalności biogenicznej całkowicie zakłócający reżim hydrologiczny i odpływ materii fluwialnej.

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

Azot azotanowy N-NO₃

Ponad dwudziestoletni przebieg stężenia azotu azotanowego w wodach rzecznych wskazuje na jego znaczne zróżnicowanie przestrzenne. Istotny statystycznie ($p < 0,05$) spadek stężenia azotu azotanowego odnotowano tylko w Parsęcie w profilu zamykającym zlewnię górnej Parsęty w Storkowie, o dość słabej korelacji ujemnej -0,34 (ryc. 26). Dziesięcioletni trend spadku stężenia azotu azotanowego w Parsęcie w Storkowie wynosi 0,35 mg/dm³. W Stacji Szymbark, na rzece Bystrzance, pomimo równie długiego ciągu pomiarowego, trend spadku stężenia N-NO₃ jest nieistotny statystycznie ($p > 0,05$).

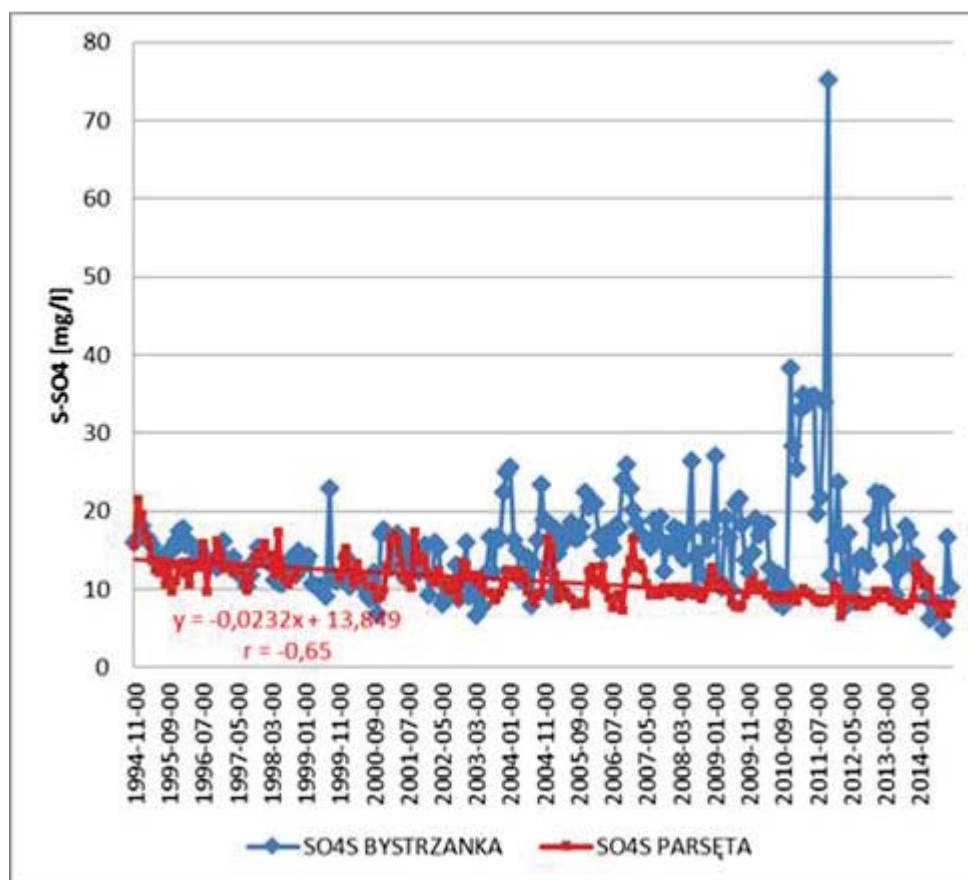


Ryc. 26 Zmiany stężenia N-NO₃ w Parsęcie (Storkowo) i Bystrzance (Szymbark) w latach 1994-2014

W pozostałych Stacjach Bazowych trend zmian stężenia N-NO₃ jest także nieistotny statystycznie, ale pokazuje on różne prawidłowości. Tendencję zmniejszania stężenia azotu azotanowego stwierdzono w Stacjach Święty Krzyż i w Puszczy Boreckiej. Natomiast w zlewni Strugi Toruńskiej w Koniczynie stwierdzono niekorzystną tendencję podnoszenia się stężenia azotu azotanowego, gdzie stężenia są ponad 2 krotnie wyższe niż w pozostałych badanych ciekach (w 2014 roku 7,8 mg/dm³). W 2014 roku stwierdzono średnie stężenie 6,9 mg N-NO₃/dm³, co porównaniu z rekordowym stężeniem zanotowanym w roku ubiegłym (7,8 mg N-NO₃/dm³) jest niewielkim spadkiem stężenia, jednakże na tle badań od 1993 roku taka zawartość azotu azotanowego jest nadal wysoka. Znaczne wartości w okresie zimy i wiosny świadczą o ich rolniczym pochodzeniu (w lutym 2014 roku notowano 11,4 mg N-NO₃/dm³). W pozostałych zlewniach ZMŚP stężenia azotu azotanowego w badanych ciekach cechują się bardzo małą zmiennością. Reasumując, można stwierdzić, że odpływ fluwialny azotu azotanowego ze zlewni ZMŚP nie podlega wyraźnym zmianom czasowym, na co wpływa m. in. zatrzymywanie znacznej części związków azotu przez roślinność.

Siarka siarczanowa S-SO₄

Wieloletnia dynamika stężenia siarki siarczanowej w wodach rzecznych wskazuje na spadkowy trend stężenia S-SO₄, zwłaszcza w młodogłacjalnej strefie pojeziernej. Istotny statystycznie spadek stężenia siarki siarczanowej odnotowano w Parsęcie (Stacja Storkowo). Trend 10. letni spadku stężenia S-SO₄ w Parsęcie wynosi 4,3 mg/dm³ (ryc. 27). Odm inną tendencję stwierdzono w Bystrzance, gdzie odnotowano nieistotny statystycznie wzrost stężenia S-SO₄. W pozostałych ciekach monitorowanych przez Stacje ZMŚP trendy liniowe zmian stężenia siarki siarczanowej są także nieistotne statystycznie oraz nie wykazują wyraźnej zmiany kierunkowej.



Ryc. 27. Zmiany stężenia S-SO₄ w Parsęcie (Storkowo) i Bystrzance (Szymbark)

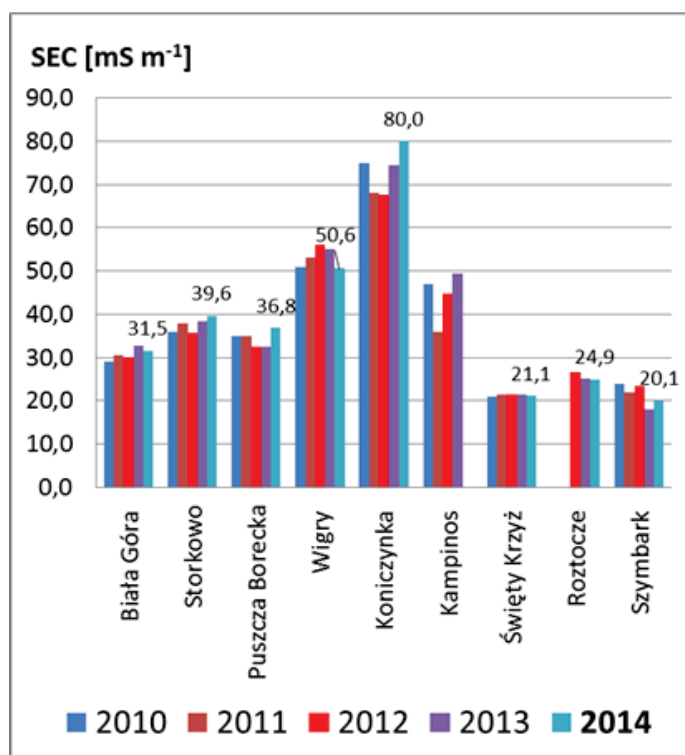
Analiza składu chemicznego wód rzecznych monitorowanych przez Stacje Bazowe w 2014 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwala zakwalifikować je (wg klasyfikacji Szczukariewa) do wód prostych o następujących typach hydrochemicznych:

- wodorowęglanowo-wapniowych HCO₃⁻ - Ca²⁺ (Lewińska Struga, Parsęta, Bystrzanka, Struga Toruńska i Świerszcz, Czarna Hańcza),
- siarczanowo-wapniowo-magnezowe SO₄²⁻ - Ca²⁺ - Mg²⁺ (odpływ C6 na Świętym Krzyżu).

Mineralizacja wód rzecznych i transport ładunku substancji rozpuszczonych determinowany jest wielkością przepływu wody. Dynamika przewodności właściwej (SEC),

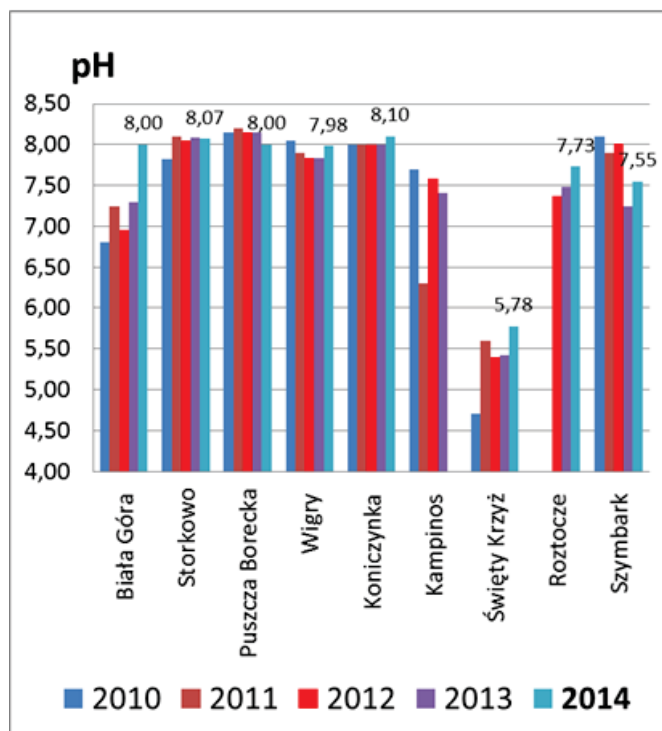
która jest wskaźnikiem mineralizacji wód rzecznych zależy od wielkości przepływu i wykazuje zależność odwrotnie proporcjonalną. Najwyższe wartości SEC występują podczas niskich stanów wód, kiedy w wodach rzecznych jest znaczący udział wysoko zmineralizowanych wód podziemnych. Natomiast najniższe wartości SEC występują podczas wysokiego przepływu wody, zwłaszcza w trakcie wezbrań roztopowych i opadowych, kiedy wody rzeczne ulegają rozcieńczaniu w wyniku znacznej dostawy nisko zmineralizowanej wody opadowej i roztopowej.

Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2014 roku na tle lat 2010-2013 cechuje się bardzo dużym zróżnicowaniem czasowym i przestrzennym. Na trzech monitorowanych ciekach mineralizacja wód rzecznych była najwyższa w ostatnich 5 latach, m. in. w Storkowie, Puszczy Boreckiej i Koniczynie. Można zauważyć niekorzystną sytuację wysokiej przewodności elektrolitycznej wód rzecznych w 2014 roku, zwłaszcza w Parsęcie (40 mS m⁻¹) i Koniczynie (80 mS m⁻¹). Wysoka mineralizacja wody w Strudze Toruńskiej związana jest z antropopresją, gdzie występowało wysokie stężenie substancji rozpuszczonych pomimo normalnej dostawy nisko mineralizowanych wód opadowych (2014 rok w Koniczynie był normalny pod względem opadowym). Natomiast w Parsęcie wysoka mineralizacja wody była efektem znacznego udziału wysoko mineralizowanych wód podziemnych w odpływie rzeczny (2014 rok był w Storkowie suchy).



Ryc. 28 Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) wód rzecznych w 2014 roku w Stacjach ZMŚP na tle okresu 2010-2013

Największe zmiany odczynu w wodach rzecznych w 2014 roku na tle ostatnich pięciu lat stwierdzono w Bystrzance (Stacja Szymbark) i Lewińskiej Strudze (Stacja Biała Góra) oraz w cieku C6 na Świętym Krzyżu (ryc. 29). W 2014 roku średni odczyn 7,55 w Bystrzance był znacznie niższy niż w latach 2010-2012 ale wyższy niż w roku ubiegłym. Stosunkowo niski odczyn wód rzecznych w Bystrzance można łączyć z antropopresją i dostawą jonów kwasogennych, zwłaszcza siarki siarczanowej oraz z dostawą kwaśnych wód opadowych (2014 rok był w Szymbarku bardzo wilgotny). Można zauważyć bardzo małą zmienność czasową odczynu wód rzecznych w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, zwłaszcza w ciekach monitorowanych przez Stację w Puszczy Boreckiej, Koniczynie i Storkowie (ryc. 27). Znaczne zakwaszenie wód płynących na Świętym Krzyżu wynika ze specyficznej budowy geologicznej Gór Świętokrzyskich i nie jest wynikiem zanieczyszczenia antropogenicznego.



Ryc. 29 Odczyn wód rzecznych w 2014 roku w Stacjach ZMŚP na tle okresu 2010-2013

Bilans jonowy czynników kwasogennych - siarki siarczanowej $S-SO_4$ i azotu azotanowego $N-NO_3$

Analiza stężenia siarki siarczanowej i azotu azotanowego w wodach opadowych i rzecznych oraz rocznej sumy opadów atmosferycznych P [mm] i wysokości warstwy odpływu H [mm] pozwala na określenie bilansu głównych jonów zakwaszających środowisko przyrodniczego ($S-SO_4$ i $N-NO_3$) badanych zlewni ZMŚP (tab. 13).

Tab. 13. Bilans czynników kwasogennych S-SO₄ i N-NO₃ w zlewniach badawczych ZMŚP w 2014 roku

Parametr	Biała Góra	Storkowo	Wigry	Koniczynka	Święty Krzyż	Roztocze	Symbark
Opad atmosferyczny [mm]	618	540	538	464	934	921	1180
Opad S-SO ₄ [mg/m ²]	337	151	213	342	2765	519	196
Opad N-NO ₃ [mg/m ²]	539	178	542	303	869	289	990
Odływ rzeczny [mm]	134	115	170	6	19	119	432
Odływ S-SO ₄ [mg/m ²]	937	1153	1609	194	393	623	3452
Odływ N-NO ₃ [mg/m ²]	59	133	385	38	4	32	367
Bilans S-SO₄ [mg/m²]	-600	-1002	-1396	148	2371	-105	-3256
Bilans S-NO₃ [mg/m²]	480	45	157	265	864	256	623

Analiza bilansu azotu azotanowego i siarki siarczanowej w zlewniach badawczych ZMŚP w 2014 roku wykazuje odmienne prawidłowości niż w 2013 roku (Tylkowski 2014). Można zauważyć znaczący wpływ typu użytkowania terenu i związanej z tym formy antropopresji na obieg materii (w tym czynników kwasogennych) w zlewniach rzecznych. W zlewniach o dużym udziale lasów bilans azotu azotanowego jest wysoki (Biała Góra, Roztocze), wynoszący około +300-500 mg/m². W zlewniach zalesionych azot dostarczony z opadami atmosferycznymi wykorzystywany jest głównie do rozwoju roślinności a mały udział pól uprawnych powoduje ograniczenie nawożenia i wystąpienie spływów powierzchniowych azotanów do koryt rzecznych i dalszego ich odpływu poza zlewnię. W tego typu zlewniach roczny bilans azotu azotanowego cechuje stosunkowo mała zmienność. Odmienna sytuacja występuje w zlewniach o dużym udziale użytkowania nieleśnego, gdzie zmienność rocznego bilansu N-NO₃ jest duża, np. w Symbarku w 2014 roku stwierdzono bardzo wysoki dodatni bilans azotu azotanowego 623 mg/m². Przyczyną takiej sytuacji jest znaczna dostawa (ładunek) N-NO₃ dostarczony wraz z opadami atmosferycznymi (2014 rok w Symbarku był bardzo wilgotny). Wyjątkową sytuację stwierdzono w Koniczynie, gdzie w 2014 roku bilans N-NO₃ był dodatni 265 mg/m², inaczej niż w ubiegłych latach, np. bilans N-NO₃ w 2013 roku był wysoko deficytowy (np. -396 mg/m²). O tej wyjątkowej sytuacji zdecydował ekstremalnie niski odpływ rzeczny, gdzie wody ciekę mogły być wykorzystywane w rolnictwie (zlewnia Strugi Toruńskiej jest zlewnią użytkowaną rolniczo).

Natomiast bilans siarki siarczanowej w większości badanych zlewni był ujemny, z wyjątkiem Strugi Toruńskiej i ciekę C6 na Świętym Krzyżu. Wyjątkowo dodatni bilans S-SO₄ w Koniczynie i Świętym Krzyżu był spowodowany ekstremalnie małym odpływem wody w ciekach (< 20 mm) oraz znacznym ładunkiem siarki siarczanowej w Górach Świętokrzyskich (2014 rok na Świętym Krzyżu był wilgotny).

Dla 2014 roku nie określono bilansu jonów kwasogennych dla Stacji Puszcza Borecka i Kampinos, ze względu na zaburzenia odpływu wody w ciekach spowodowane działalnością bobrów.

Wskaźniki jakości obiegu wody

Bilans denudacyjny

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).

W opracowaniu przedstawiono bilans jonowy zlewni rzecznych ZMŚP w 2014 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (tab. 14). W bilansie denudacyjnym uwzględniono jony mierzone zarówno w wodach opadowych i rzecznych. Uwzględniono jony, których głównym źródłem jest denudacja chemiczna (SO_4 , Cl, Na, Mg, Ca) oraz dostawa biogeniczna (NO_3 , NH_4 , K).

Analiza bilansu jonowego w 2014 roku dla zlewni ZMŚP wykazała dodatni budżet dla jonów pochodzenia biogenicznego i dostarczanych przez działalność człowieka poprzez nawożenie – NO_3 , NH_4 i K (tab. 14). 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.

Dodatni bilans jonów denudacyjnych w Koniczynie i na Świętym Krzyżu był skutkiem ekstremalnie niskiego odpływu rzeczny i związanego z tym bardzo małego ładunku substancji rozpuszczonych.

Tab. 14. Bilans denudacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2014 roku

Parametr	Biała Góra	Storkowo	Wigry	Koniczynka	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Opad atmosferyczny [mm]	618	540	538	464	934	921	1180
Odpływ rzeczny [mm]	134	115	170	6	19	119	432
Bilans jonów denudacyjnych [mg/m ²]							
SO ₄	-1800	-3004	-4182	447	7114	-314	-9725
Cl	-1086	-574	-605	81	2657	42	-617
Ca	-6070	-8537	-12855	-519	3545	-5348	-18688
Mg	-505	-710	-2230	-55	869	-104	-2413
Na	-491	-504	-2976	72	981	-19	-4291
Suma	-9952	-13329	-22848	26	15165	-5744	-35734
Bilans jonów biogenych [mg/m ²]							
NO ₃	2128	208	699	1165	3804	1135	2725
NH ₄	930	310	-362	561	1040	589	266
K	52	-193	2040	12	614	28	-1766
Suma	3110	325	2377	1738	5458	1752	1225

W zlewniach o największej antropopresji zauważyć można ekstremalnie ujemny bilansu jonów denudacyjnych. Zwiększony odpływ materii rozpuszczonej w tych zlewniach związany jest ze znacznym udziałem powierzchni o rolniczym użytkowaniu, które wpływają na szybsze substancji rozpuszczonych ze zlewni, np. Szymbark i Wigry. W zlewniach o dużym udziale lasów (np. Biała Góra, Roztocze) znaczna ilość wody i ładunku substancji rozpuszczonych jest przechwytywana przez roślinność i obieg wody jest spowolniony, co powoduje że bilans jonów denudacji chemicznej jest względnie najniższy.

Dla jonów biogenicznych K ujemny bilans stwierdzono w zlewniach o znacznym udziale gruntów rolnych (Storkowo, Szymbark). Na ujemny bilans jonów potasowych w tych zlewniach wpływa 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. Biała Góra, 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.

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.

8. WSKAŹNIKI FIZYKOCHEMICZNE JAKOŚCI WÓD POWIERZCHNIOWYCH I PODZIEMNYCH

Wskaźnik eutrofizacji wód powierzchniowych

Eutrofizacja jest naturalnym procesem przyrodniczym, który w przypadku oligotroficznych 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 skutkiem 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 określa wartości graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji dla różnych typów wód. W 2014 roku w w żadnym z monitorowanych cieków nie stwierdzono przekroczenia progowej wartości stężenia fosforu ogólnego $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$. W poprzednim roku wartość progową stężenia fosforu ogólnego przekroczyła tylko Struga Toruńska. W przypadku azotu azotanowego stężenia dopuszczalne ($2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) są przekroczone jedynie w Strudze Toruńskiej w profilu

Koniczynka ($6,90 \text{ mg dm}^{-3}$). Dla stężenia jonów azotanowych norma wynosząca 10 mg dm^{-3} przekroczona została także tylko w Koniczynie ($29,80 \text{ mg dm}^{-3}$), (tab. 15). Przekroczenie wartości progowych stężenia związków azotu wynika z rolniczego użytkowania zlewni Strugi Toruńskiej i stosowania nawozów azotowych. W pozostałych ciekach takiego zagrożenia eutrofizacji wód płynących nie stwierdzono.

Tab. 15 Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2014 roku

Stacja - ciek	Pog [mg dm^{-3}]	N- NO_3^- [mg dm^{-3}]	NO_3^- [mg dm^{-3}]
Biała Góra – Lewińska Struga	0,05	0,44	1,93
Storkowo - Parsęta	0,08	1,16	5,14
Wigry – Czarna Hańcza Ujście	0,06	1,56	6,91
Koniczynka – Struga Toruńska Koniczynka	0,15	6,90	29,80
Święty Krzyż – C6	0,01	0,22	0,97
Roztocze – Świerszcz Malowany Most	0,14	0,27	1,20
Szymbark - Bystrzanka	0,08	0,85	3,78

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 roku za wartość progową eutrofizacji wód jeziornych niestratyfikowanych uznano stężenia fosforu ogólnego powyżej $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$. Powyższa wartość progowa nie została przekroczona na żadnym z monitorowanych jezior: Gardno, Czarne i Łękek (tab. 16).

Tab. 16 Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2014 roku

Stacja - jezioro	Pog. [mg dm^{-3}]
Biała Góra – Jezioro Gardno	0,08
Storkowo – Jezioro Czarne	0,01
Puszcza Borecka – Jezioro Łękek	0,08

Z jezior badanych w ramach ZMŚP tylko Jezioro Czarne można zaliczyć do typu oligotroficznego pod względem stężenia fosforu ogólnego. Natomiast ze względu na małą ilość rozpuszczonego tlenu Jezioro Czarne posiada cechy dystroficzne. Mała ilość związków rozpuszczonych w wodach jest konsekwencją opadowego zasilania tego jeziora (Szpikowski 2012). Z kolei jeziora Gardno i Łękek są zbiornikami eutroficznymi, w których dominuje zasilanie podziemne i powierzchniowe. Należy podkreślić, że pod względem stężenia fosforu ogólnego stan jeziorach Gardno i Łękek uległ poprawie w porównaniu z rokiem ubiegłym. Okresowe przekroczenie stężenia Pog. wynika przede wszystkim z lokalnych uwarunkowań przyrodniczych zlewni Jezior Gardno i Łękek (lasy w zlewni Jeziora Gardno zajmują 97% powierzchni a w zlewni Jeziora Łękek 82%, brak możliwości biogenów ze spływem powierzchniowym do misy jeziornej) a nie są skutkiem dostawy zanieczyszczeń antropogenicznych.

Wybrane parametry jakości wód powierzchniowych i podziemnych

Realizowany monitoring wód powierzchniowych i podziemnych pozwala na dokonanie oceny jakości wody w zakresie wybranych parametrów fizykochemicznych - zgodnie z wytycznymi zawartymi w Ramowej Dyrektywy 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 i stanu chemicznego jednolitych części wód podziemnych, zgodnie z Rozporządzeniami Ministra Środowiska (2008, 2014).

Wody powierzchniowe

Zlewnie 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 H1 wody powierzchniowe rzeki i H2 wody powierzchniowe jeziora 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 2014 roku monitoring fizykochemiczny wód płynących dotyczył następującego zakresu:

- wskaźniki charakteryzujące stan fizyczny, w tym warunki termiczne (temperatura wody),
- wskaźniki charakteryzujące warunki tlenowe i zanieczyszczenie organiczne (tlen rozpuszczony, pięciodobowe zapotrzebowanie tlenu BZT₅),
- 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 2013 rokiem uległa nieznacznemu pogorszeniu. Większość badanych cieków posiadała w 2014 roku bardzo dobrą (2 cieki: Parsęta i Świerszcz) i dobrą jakość elementów fizykochemicznych (2 cieki – Czarna Hańcza i Bystrzanka). Stan poniżej dobrego (III-V klasa) stwierdzono dla 3 cieków: Lewińskiej Strugi, Strugi Toruńskiej i C6 na Świętym Krzyżu, (tab. 17).

Tab. 17 Jakość wód płynących w 2014 roku wg wybranych elementów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2014, GIOŚ 2014) - w odniesieniu do programu ZMŚP H1 wody powierzchniowe rzeki

Stacja Bazowa ZMŚP	Biała Góra	Storkowo	Wigry	Koniczynka	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Ciek	Lewińska Struga	Parsęta	Czarna Hańcza	Struga Toruńska (Koniczynka)	Ciek C6	Świerszcz (Malowany Most)	Bystrzanka
Temperatura wody [°C]	I	I	I	I	I	I	I
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ /l]	III-V	I	I	I		I	I
BZT ₅ [mg O ₂ /l]	I	I	II	I			II
Przewodność [mS/cm]	I	I	I	I	I	I	I
Substancje rozpuszczone [mg/l]	I	I	I	I	I	I	I
Siarczany [mgSO ₄ /l]	I	I	I	I	I	I	I
Chlorki [mg Cl/l]	I	I	I	I	I	I	I
Wapń [mg Ca/l]	I	I	I	II	I	I	I
Magnez [mg Mg/l]	I	I	I	I	I	I	I
Odczyn [pH]	I	I	I	I	III-V	I	I
Azot amonowy [mg N-NH ₄ /l]	I	I	I	I	II	I	I
Azot azotanowy [mg N-NO ₃ /l]	I	I	II	III-V	I	I	I
Fosfor ogólny [mg P/l]	I	I	I	I	I	I	I

Na obniżenie jakości do klasy poniżej dobrego stanu wody w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka zadecydowały podwyższone wartości stężenia azotu azotanowego (6,85 mg/dm³), którego przyczyną jest dominacja rolnego użytkowania zlewni. Stan poniżej dobrego stwierdzono także dla Lewińskiej Strugi, która posiadała niekorzystne warunki natlenienia (O₂ 3,95 mg/dm³). Słabe warunki tlenowe w Lewińskiej Strudze są efektem dużej bezwładności odpływu wody w cieku, który jest charakterystyczny dla tego geoekosystemu rzeczno-jeziornego. Monitorowany odcinek Lewińskiej Strugi o długości 400 m znajduje się między jeziorami przepływowymi i posiada bardzo mały spadek (1,56‰), który decyduje o bardzo małej prędkości ruchu wody w korycie rzecznym. Ograniczony ruch wody w korycie, niekiedy o stagnującym charakterze, pogarsza jej natlenienie. Należy podkreślić, iż słaby stan fizykochemiczny Lewińskiej Strugi wynika przede wszystkim z naturalnie ograniczonej

dynamiki odpływu wody a nie jest efektem szkodliwej działalności człowieka. Stan poniżej dobrego stwierdzono także w cieku C6 na Świętym Krzyżu, gdzie o słabej ocenie zadecydowała bardzo mała wartość odczynu wody (pH 5,78) i jej silne zakwaszenie. Silne zakwaszenie wody w cieku C6 jest wynikiem zarówno specyficznej budowy geologicznej Gór Świętokrzyskich jak i efektem dostawy kwaśnych opadów atmosferycznych pochodzących z dalekiej emisji.

Na ocenę jakości wód jeziornych zlewni ZMŚP wpływają wskaźniki fizykochemicznych, 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),
- wskaźniki charakteryzujące warunki biogenne (fosfor ogólny).

Analiza powyższych wskaźników fizykochemicznych w 2014 roku pozwala na zakwalifikowanie wszystkich badanych jezior: Gardno (Stacja Biała Góra), Czarne (Stacja Storkowo) i Łękek (Stacja Puszcza Borecka) do stanu dobrego (tab. 18). W odniesieniu do roku ubiegłego poprawił się stan jeziora Łękek, gdyż stężenia fosforu ogólnego mieściły się w klasie I-II.

Tab. 18 Jakość stojących wód powierzchniowych w 2014 roku wg wybranych parametrów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2014) w odniesieniu do programu ZMŚP H2 - wody powierzchniowe jeziora

Stacja Bazowa ZMŚP	Biała Góra	Storkowo	Puszcza Borecka
Jezioro	Gardno	Czarne	Łękek
Parametr fizykochemiczny			
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ /l]	I	I	I
Przewodność [mS/cm]	I	I	I
Fosfor ogólny [mg P/l] -Współczynnik Schindlera	I	I	I

Wody podziemne

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), Rostocze (127), Szymbark (157).

W raporcie 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, sól, wapń, wodorowęglany).

Ocena jakości wód podziemnych (wybranych parametrów stanu chemicznego) w 2014 roku wypadła gorzej niż w 2013 roku.

W 2014 roku dobry jakość wód podziemnych stwierdzono w następujących stanowiskach badawczych:

- Biała Góra (II klasa 2 piezometry),
- Storkowo (III klasa 3 piezometry),
- Puszcza Borecka (II klasa 1 studnia),
- Wigry (II klasa 1 piezometr),
- Koniczynka (II klasa 1 piezometr),
- Kampinos (III klasa 8 piezometrów)
- Święty Krzyż (II klasa 2 źródła),
- Roztocze (II klasa 1 piezometr - wody kredowe),
- Szymbark (I klasa 1 studnia).

Dobłą jakość wód podziemnych stwierdzono głównie częściach wód podziemnych o niskiej antropopresji (np. Biała Góra, Puszcza Borecka) i występujących w głębszych warstwach wodonośnych.

Słabą jakość stwierdzono w wodach podziemnych występujących w płytkich poziomach wodonośnych, które posiadają swobodny kontakt z infiltrującymi zanieczyszczeniami powierzchniowymi. Do słabej klasy (IV-V klasa) zaliczono wody podziemne monitorowane w 20 piezometrach w Kampinosie i w 1 piezometrze na Roztoczu (IV klasa). Przekroczenie wartości granicznych dla wód o dobrym stanie chemicznym (poniżej III klasy) dotyczyło najczęściej niekorzystnych warunków tlenowych i podwyższonego stężenia tlenu, wodorowęglanów i wapnia. Lokalizacja powyższych punktów pomiarowych jakości wód podziemnych na obszarze Parków Narodowych pozwala przypuszczać, że ich słaby stan chemiczny w ograniczonym stopniu wynika z działalności człowieka.

9. STAN BIOINDYKACJI W ODNIESIENIU DO WARUNKÓW WODNYCH

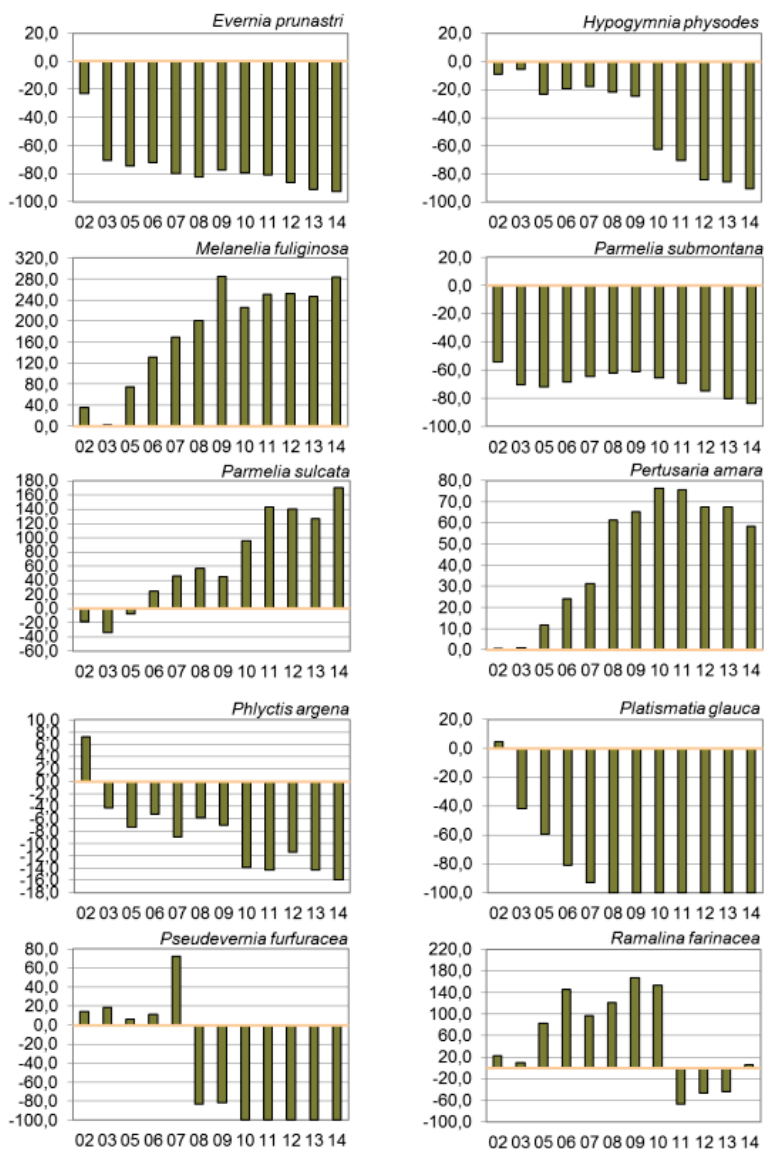
Bioindykacja jest jedną z podstawowych metod oceny stanu środowiska przyrodniczego na podstawie reakcji wybranych elementów biologicznych czułych m. in. na zmiany warunków hydrometeorologicznych (głównie termiczno-wilgotnościowych), stężenie biogenów, obecność substancji toksycznych. W grupie programów biotycznych w 2014 roku obecnie realizowano monitoring epifitów nadrzewnych, fauny bezkręgowej oraz monitoring uszkodzeń drzew i drzewostanów. Celem programów biotycznych było określenie reakcji funkcjonowania organizmów żywych w odniesieniu do dynamiki zmian abiotycznych komponentów środowiska przyrodniczego.

W 2014 roku hydrologicznym bioindykacja realizowana była na wszystkich Stacjach Bazowych ZMŚP. W niniejszym opracowaniu dokonano próby oceny wpływu warunków opadowych na wieloletnią zmienność epifitów nadrzewnych, fauny epigeicznej i zdrowotności drzewostanów na przykładzie Stacji ZMŚP w Storkowie.

Epifity nadrzewne

Epifity nadrzewne należą do powszechnie stosowanych wskaźników zmian: zanieczyszczenia powietrza, warunków siedliskowych oraz struktury użytkowania terenu (Fałtynowicz 1995). Monitoring porostów realizowany jest na stałych powierzchniach badawczych poprzez obserwację ich zdrowotności i pomiary zmian powierzchni plech. Regułą jest, że plechy o najmniej rozbudowanej architekturze są najbardziej odporne na zanieczyszczenia. Porosty krzaczkowate, charakteryzujące się przestrzennie rozbudowanymi plechami uchodzą za dużo bardziej wrażliwe na zanieczyszczenia niż porosty o innej budowie morfologicznej, przede wszystkim skorupiastej (Szpikowski 2012). W 2014 roku w Stacji w Storkowie przeprowadzono pomiary wielkości plech porostów na 5 stanowiskach i 7 powierzchniach monitoringowych. Liczba stanowisk uległa ograniczeniu z przyczyn naturalnych (zarastanie mszakami) i antropogenicznych (wycięcie drzew). W 2014 roku na siedmiu powierzchniach monitoringowych wystąpiło 8 z 10 gatunków porostów wskaźnikowych. Liczba gatunków na powierzchniach monitoringowych wahała się od 1 do 5. Najczęściej notowanymi gatunkami były *Melanelia fuliginosa* i *Pertusaria amara* (pięć wystąpień), a najrzadziej *Ramalina farinacea* i *Phlyctis argena* (pojedynczo). W trakcie badań w zlewni górnej Parsęty całkowicie ustąpiły z powierzchni monitoringowych dwa gatunki porostów – listkowaty *Platismatia glauca* (w 2008) oraz krzaczkowaty *Pseudevernia furfuracea* (w 2010). I jeśli w przypadku pierwszego gatunku przyczyna zaniknięcia nie jest do końca pewna, (można ją prawdopodobnie powiązać z wkroczeniem na daną powierzchnię mszaków) tak w przypadku drugiego przyczyną ustąpienia było spękanie kory drzewa i

odpadnięcie plechy wraz z korą. W 2014 roku w zlewni górnej Parsęty zaobserwowano znaczne zmniejszenie powierzchni plech trzech gatunków porostów, podobnie jak w roku poprzednim były to: *Hypogymnia physodes* (o 33,5%), *Evernia prunastri* (o 17,5%) oraz *Parmelia submontana* (o 16,6%). Nieznacznie spadła powierzchnia plech dwóch gatunków skorupiastych: *Phlyctis argena* i *Parmelia sulcata*. Zaobserwowano przyrost powierzchni plech dwóch gatunków listkowatych: *Melanelia fuliginosa* (o 10,7%) i *Parmelia sulcata* (o 19,3%). Największy przyrost zanotowano w przypadku krzaczkowatego porostu *Ramalina farinacea*, plecha przyrosła aż o 88,6% (ryc. 30). Na podstawie zgromadzonych do tej pory danych można przyjąć, że na plechy monitorowanych gatunków porostów wpływa szereg czynników zarówno antropogenicznych: zanieczyszczenia powietrza, zmiany w siedlisku, jak i naturalnych: warunki atmosferyczne, łuszczenie kory drzew, uszkodzenia mechaniczne wywoływane przez zwierzęta, wkraczanie mchów oraz zmiany związane z dynamiką populacji poszczególnych gatunków porostów (np. starzenie plech). Badania dotyczące zawartości związków azotu i siarki w powietrzu, opadach atmosferycznych czy w plechach *Hypogymnia physodes* (Sawicka – Kapusta i in. 2012) nie wskazują na udział tych zanieczyszczeń w degradacji plech niektórych gatunków porostów. Jednak należy podkreślić, że na aktywność życiową organizmu oddziałuje duża liczba czynników abiotycznych i biotycznych i w warunkach naturalnych może być ona poddawana złożonym wpływom licznych zanieczyszczeń. Analizując roczną dynamikę powierzchni plech porostów na badanych powierzchniach nie stwierdzono wyraźnej zależności pomiędzy atmosferyczną dostawą wody a zmiennością powierzchni porostów. Można założyć, że warunki wilgotnościowe (roczna suma opadów atmosferycznych) nie stanowią najważniejszego bodźca zmian wielkości plech zarówno dla wrażliwych na zmiany środowiskowe porostów krzaczkowatych (np. *Parmelia submontana*, *Pseudevernia furfuracea*, *Ramalina farinacea*) i listkowatych (np. *Parmelia submontana*, *Platismatia glauca*) jak i bardziej odpornych na zmiany środowiskowe porostów skorupiastych (np. *Pertusaria amara*, *Phlyctis argena*).



Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Klasa opadowa	Wilgotny ↑	Suchy ↓	Normalny ↑↓	Suchy ↓	Suchy ↓	Wilgotny ↑	Normalny ↑↓	Normalny ↑↓	Wilgotny ↑	Suchy ↓	Normalny ↑↓	Bardzo suchy ↓↓	Suchy ↓

Ryc. 30 Zmiany powierzchni plech porostów na wszystkich stanowiskach monitoringowych w Storkowie latach 2002 – 2014 (wartości przedstawiono w % w stosunku do stanu zerowego – pierwszy rok obserwacji (2001) wartość 0%), (Domańska 2015, zmienione) w odniesieniu do rocznej klasyfikacji opadów atmosferycznych.

Fauna epigeiczna

W Storkowie w borze świeżym odłowiono 321 osobników biegaczowatych, czyli ponad dwa razy mniej niż w roku poprzednim (713 osobników), wśród których stwierdzono 8 gatunków, czyli o dwa mniej niż w 2013 roku 2014. Liczba odłowionych osobników i gatunków była mniejsza niż w poprzednim roku. Wartość wskaźnika łowności wyniosła 0,14

osobnika na dobocylinder. Wartość wskaźnika równomierności wyniosła 0,81. W strukturze troficznej dominowały zoofagi duże, których udział w zgrupowaniu wynosił 89%, czyli nieco mniej niż w roku poprzednim (92%). Pozostałą część zgrupowania stanowiły zoofagi małe. Wartość wskaźnika różnorodności H' wyniosła 1,70 a jego maksymalna wartość wyniosła 2,08. W borze mieszanym świeżym w Storkowie odłowiono 428 osobników biegaczowatych należących 12 gatunków. Liczba odłowionych osobników była znacznie mniejsza niż w 2013 roku, w którym odłowiono 708 osobników. Mniejsza była również liczba odłowionych gatunków. Odłowiono ich 10, podczas gdy w 2013 roku 12 gatunków. Liczebność odłowów przełożyła się na mniejszą wartość wskaźnika łowności, która wyniosła 0,31 osobnika na dobocylinder. Wartość wskaźnika równomierności (J') 0,78. W strukturze troficznej dominowały zoofagi duże, których osobniki stanowiły ponad 99% zgrupowania. Pozostałe osobniki należały do zoofagów małych (1%). Wskaźnik różnorodności (H') osiągnął wartość 1,80, natomiast wartość wskaźnika H' max wyniosła 2,30. Generalnie w 2014 roku monitoring fauny epigeicznej wykazał pogorszenie stanu środowiska, czego przejawem była mniejsza o 2 liczba gatunków oraz dwukrotnie niższa liczba osobników. Na pogorszenie warunków siedliskowych mogłyby mieć wpływ warunki wodne, gdzie występował efekt clusterringu deficytu wody, przejawiający się w ostatnich 4 latach dominacją lat suchych (2011 i 2014 rok) i roku bardzo suchego (2013 rok).

Uszkodzenia drzewostanów

Celem badań jest uzyskanie wskaźnikowych informacji o stanie zdrowotności drzewostanów na podstawie oceny stopnia defoliacji i przebarwienia organów asymilacyjnych wybranych gatunków drzew oraz analiza związków przyczynowo skutkowych pomiędzy stanem zdrowotnym lasu a biotycznymi i abiotycznymi czynnikami środowiska. W Stacji Storkowo w zlewni górnej Parsęty monitorowane są dwie powierzchnie monitoringowe: w typie siedliskowym boru świeżego z dominującą sosną zwyczajną *Pinus silvestris* oraz borze mieszanym świeżym również z dominującą sosną zwyczajną. Na powierzchni boru świeżego z dominującą sosną zwyczajną średni stopień defoliacji wyniósł 14,5% co pozwoliło zaliczyć ten drzewostan, podobnie jak w roku ubiegłym, do klasy 1 – lekka defoliacja. Poszczególne drzewa charakteryzowały się defoliacją od 5 do 25%. 60% drzew zaliczono do klasy o lekkiej defoliacji (w zeszłym roku 30% drzew), resztę stanowiły drzewa o 5 lub 10 procentowym ubytku aparatu asymilacyjnego zaliczane do klasy bez defoliacji. Na badanych drzewach nie stwierdzono przebarwień w obrębie korony. Na powierzchni badawczej w borze mieszanym świeżym z dominującą sosną zwyczajną średni stopień defoliacji wyniósł 16,8% co oznacza lekką defoliację (podobnie jak w roku ubiegłym). Ubytek aparatu asymilacyjnego mieścił się

w zakresie od 5 do 30%. 40% procent drzew znalazło się w klasie bez defoliacji. Lekką defoliacją charakteryzowało się 50% drzew, a dwa drzewa zaliczono do klasy o średniej defoliacji, z ubytkiem aparatu asymilacyjnego na poziomie 30%. Na sześciu drzewach stwierdzono niewielkie zmiany w kolorze aparatu asymilacyjnego (do 20% korony). Były to przebarwienia na odcienie koloru żółtego (1 drzewo) i brązowego (5 drzew). Średnia defoliacja wyniosła 15,6% i była niższa niż podawana dla sosny w wieku powyżej 60 lat z terenu RDLP Szczecinek - 18,26% czy dla województwa zachodniopomorskiego – 18,59%. Analiza stopnia defoliacji nie wykazała bardzo wyraźnej zmiany zdrowotności drzewostanów w korelacji do warunków wodnych. Stopień defoliacji w latach o różnych warunkach wilgotnościowych (2013 rok bardzo suchy i 2014 rok suchy) był bardzo podobny (lekka defoliacja). Dopiero szczegółowa analiza warunków wodnych w sezonie wegetacyjnym mogłaby przedstawić wyraźniejszą zależność między ilością opadów atmosferycznych a stopniem defoliacji drzewostanów.

10. OCENA STANU GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI W ROKU 2014 NA TLE LAT 1994-2013

W 2014 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: Biała Góra (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 umiarkowanej strefie morfoklimatycznej, w której o przemianach środowiska przyrodniczego w największym stopniu decyduje dynamika obiegu wody i materii rozpuszczonej. Rok 2014 odznaczał się zróżnicowaniem przestrzennym atmosferycznej dostawy wody w transekcie południkowym. Warunki opadowe zmieniały się od niekorzystnych w Polsce północnej (rok suchy - Storkowo, Puszcza Borecka) i przeciętnych (rok normalny -Koniczynka, Wigry) do sprzyjających w Polsce środkowej i południowej (rok wilgotny - Kampinos, Święty Krzyż, Szymbark). Klasyfikacja opadów w 2014 roku świadczy o dużej niejednorodności przestrzennej opadów, co jest typowe dla klimatu Polski. W 2014 roku przebieg wskaźnika WTO na większości Stacji odzwierciedlał pewną tendencję do odbudowy zasobów wodnych w zlewniach ZMŚP. W nawiązaniu do cyklicznej zmienności wskaźnika WTO od 2014 roku następuje tendencja poprawy zasobów wodnych w większości badanych geoekosystemów, jednakże o dłuższej, trwałej tendencji zadecydują warunki opadowe w następnych latach hydrologicznych.

O funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego decydował ładunek zanieczyszczeń dostarczony wraz z mokrą depozycją atmosferyczną. W 2014 roku w odniesieniu do roku poprzedniego stężenia NO_2 i SO_2 cechowały się dużym zróżnicowaniem czasowym i przestrzennym, bez wyraźnej regionalnej prawidłowości. Stężenie siarczanów w opadach atmosferycznych w 2014 roku w porównaniu z ubiegłym rokiem było wyraźnie wyższe (o >10%) w Stacjach Storkowo i Koniczynka oraz wyraźnie niższe (o >10%) w Stacjach Święty Krzyż i Rostocze. W pozostałych stacjach stężenie SO_4 było zbliżone do stężeń w 2013 roku.

W 2014 roku stężenie azotanów w opadach było zdecydowanie wyższe (ponad 10%) w Stacjach Biała Góra, Koniczynka i Wigry. Na większości Stacji nie stwierdzono wyraźnej zmiany w odniesieniu do poprzedniego roku. Jedynie na Świętym Krzyżu stężenie NO₃ było wyraźnie niższe (ponad 10%). Ładunek zanieczyszczeń wnoszony do zlewni z opadami atmosferycznymi (wyrażony miarą SEC) odgrywał istotną rolę w kształtowaniu obiegu zanieczyszczeń w zlewniach ZMŚP. W 2014 roku największą mineralizację opadów odnotowano na stacjach Święty Krzyż i Wigry. O ile Stacja w Świętym Krzyżu od wielu lat należy do obszarów o dość znacznym zanieczyszczeniu opadów atmosferycznych to notowana od 3 lat bardzo wysoka mineralizacja opadów na Stacji Wigry jest zastanawiająca, a jej przyczyna wymaga ustalenia. W pozostałych zlewniach badawczych przewodność elektrolityczna opadów była zbliżona i zaliczono je do klas o mineralizacji lekko i nieznacznie podwyższonej. 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. Należy podkreślić pozytywną tendencję stabilizacji bądź obniżenia mineralizacji opadów atmosferycznych w większości badanych w 2014 roku zlewni, co było szczególnie widoczne w Stacjach Święty Krzyż i Szymbark. Tylko w tych 2 Stacjach stwierdzono zmianę klasy jakości opadów w zakresie ich przewodności elektrolitycznej w porównaniu z 2013 rokiem. Przyczyną poprawy jakości opadów była ich wysoka wydajność roczna, która sprzyjała niskiemu stężeniu substancji rozpuszczonych w wodach opadowych (dla obu Stacji 2014 rok był rokiem wilgotnym a dla Szymbarku nawet bardzo wilgotnym). W pozostałych 7 Stacjach klasa SEC jakości opadów nie uległa zmianie. W 2014 roku klasy odczynu opadów atmosferycznych w porównaniu z rokiem poprzednim, nie zmieniły się w 7 Stacjach (odczyn normalny i lekko obniżony). Tylko w tych dwóch Stacjach stwierdzono zmianę klasy jakości opadów w zakresie ich odczynu, zwłaszcza na Stacji Szymbark gdzie odczyn opadów poprawił się o 2 klasy - z silnie do lekko obniżonej. Powyższa prawidłowość potwierdza regułę poprawy jakości opadów (spadek SEC i wzrost pH) wraz z ich wyższą sumą ocną. W 2014 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 3 Stacji (Święty Krzyż, Roztocze i Szymbark) o zakwaszeniu opadów decyduje głównie stężenie dwutlenku siarki. Powyższa prawidłowość odzwierciedla sytuację większego wpływu siarczanów na zakwaszenie opadów w strefie wyżyn i gór (Święty Krzyż,

Roztocze i Szymbark), których źródłem jest zwłaszcza spalania paliw kopalnych (główne źródło wzrostu stężenia SO_2). Natomiast w strefie nizinnej (Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Konieczynka, 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. Dobrym stanem chemicznym odznaczały się wody podziemne monitorowane w 20 stanowiskach badawczych na 9 Stacjach ZMŚP, w których badano zwłaszcza głębsze, izolowane warstwy wodonośne. Słaby stan chemiczny stwierdzono w 21 piezometrach (tylko Roztocze i Kampinos), gdzie monitorowano płytkie warstwy wodonośne, które miały kontakt z infiltrującymi zanieczyszczeniami z powierzchni. Stężenia większości badanych związków chemicznych w wodach podziemnych w 2014 roku były zbliżone do wartości średnich z wielolecia, co świadczy o stabilnym składzie chemicznym wód podziemnych w badanych geoekosystemach (poza Kampinosem). Najlepszą jakość wód podziemnych stwierdzono na obszarze ich alimentacji, które są poddane niskiej antropopresji (np. Biała Góra).

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.

Wody rzeczne na 7 Stacjach Bazowych ZMŚP w 2014 roku pod względem wybranych elementów fizykochemicznych można zakwalifikować do klas o bardzo dobrej (2 cieki) i dobrej (2 ciek) jakości wody. Do stanu poniżej dobrego zakwalifikowano 3 cieki (Lewińską Strugę, Strugę Toruńską i ciek C6 na Świętym Krzyżu). O obniżeniu jakości wód Lewińskiej Strudze zadecydowały gorsze warunki natlenienia, które są efektem specyfiki obiegu wody w badanym systemie rzeczno-jeziornym a nie wynikają z zagrożenia dostawy zanieczyszczeń antropogenicznych, np. pochodzenia rolniczego czy komunalnego. Do stanu jakości wody poniżej dobrego zaliczono także ciek C6 na Świętym Krzyżu, gdzie o obniżonej jakości wody rzecznej zadecydowało jej silne zakwaszenie, które było spowodowane dostawą opadów atmosferycznych o niskim odczynie oraz specyficzną budową geologiczną zlewni. Z kolei o klasie poniżej dobrego stanu jakości wody w Strudze Toruńskiej zadecydowały przekroczone wartości graniczne stężenia azotu azotanowego, związanego z rolniczym użytkowaniem zlewni. O dość dobrym stanie jakości wód rzecznych w 2014 roku świadczyć może brak

zagrożenia monitorowanych cieków wzmożoną eutrofizacją. W ocenie jakości wód rzecznych nie uwzględniono wód płynących monitorowanych przez Stacje Puszcza Borecka i Kampinos, gdzie ze względu na naturalną presję biogeniczną (działalność bobrów) odpływ wody w ciekach był zaburzony.

W 2014 roku ocena jakości wody monitorowanych 3 jezior (Gardno, Czarne i Łękek) pod względem stężenia fosforu ogólnego, przewodności elektrolitycznej i stężenia tlenu rozpuszczonego uległa poprawie, gdyż wszystkie jeziora zakwalifikowano najlepszej klasy jakości wody.

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 2007-2013 (Skotak i in. 2014). 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 2014 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 2014 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 ekstremalny opad atmosferyczny w dniu 3 sierpnia 2015 roku, kiedy w ciągu 2 godzin stwierdzono 70 mm deszczu. Jednakże tak ekstremalny opad nie spowodował zmian funkcjonowania środowiska przyrodniczego. Nie stwierdzono istotnych zmian geomorfologicznych, np. w postaci erozji brzegu klifowego (wystąpił intensywny spływ powierzchniowy, który nie generował ruchów masowych) oraz znacznego wezbrania wody w systemie rzeczno-jeziornym Lewińskiej Strugi (leśne użytkowanie zlewni oraz występowanie jezior przepływowych ograniczyło wezbranie wody w cieku). W kontekście wpływu ekstremalnych zjawisk przyrodniczych bardzo istotne jest określenie bezwładności systemu oraz ocena stanu środowiska w czasie poprzedzającym zjawisko ekstremalne.

Analiza bioindykatorów analizowanych w programach ZMŚP wykazała konieczność zmian programu monitoringu biotycznego. Od 2015 roku wprowadzone zostaną do programu ZMŚP badania makrofytów w wodach rzecznych i hydromorfologicznej oceny koryt rzecznych oraz monitoring roślin inwazyjnych obcego pochodzenia. Powyższe biowskaźniki dobrze uzupełnią ocenę stanu środowiska przyrodniczego badanych zlewni.

Posiadając w Centralnej Bazie Danych ZMŚP ponad dwudziestoletnie ciągi pomiarowe uzasadnione jest prognozowanie przyszłych zmian środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. Od 2015 w raportach Stacji Bazowych ZMŚP przedstawiane będzie 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.

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.

11. Literatura

- Bochenek W., Knapik A., Kiszka K., 2015: Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Szymbark w roku hydrologicznym 2014. Szymbark, maszynopis.
- Domańska M., 2015: Epifity nadrzewne, uszkodzenia drzewostanów, fauna epigeiczna. [W:] Kostrzewski A., Domańska M., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., Szpikowski J., 2014: Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2014. Storkowo – Poznań, maszynopis.
- 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.
- Gurwin J., Krawiec A., 2012: Identyfikacja systemu krążenia wód podziemnych na wyspie Wolin. *Biuletyn PIG* 451: 53-62.
- 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., Jóźwiak M.A., Kozłowski R., 2015. Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Święty Krzyż w roku hydrologicznym 2014. Kielce, maszynopis.
- Kaczorowska Z., 1962: Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geogr. IG PAN*, 33, 1-102.
- Kejna M., Czarnecki A., Hildebrandt K., Kartanas E., Lewandowska-Czarnecka A., Paprocki R., Sobota I., Uscka-Kowalkowska J., Wojtczak H., 2015: Raport za rok hydrologiczny 2014. Toruń, maszynopis.
- Kazimierski B., Pilichowska-Kazimierska E., 2006: Monitoring i ocena stanu wód podziemnych. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* nr 7, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 9-19.
- Kolander R., 1999: Stan geoekosystemów Polski w 1998 roku. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_1998.pdf
- Kostrzewski A., 1993: Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna, W: A. Kostrzewski (red.), *Geoekosystem obszarów nizinnych*, Polska Akademia Nauk, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, 11-17.
- Kostrzewski A., 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia i zadania. [W:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe*, *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 7-22.
- Kostrzewski A., Domańska M., Kruszyk R., Szpikowska G., Szpikowski J., 2015: Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2014. Storkowo – Poznań, maszynopis.
- 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.
- Kostrzewski, A., Mazurek, M., Stach, A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego - Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa.
- 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., Janecki T., 2015: Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Wigry w roku hydrologicznym 2014. Krzywe, maszynopis.
- 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.
- 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.
- Olszewski A., Barga-Więclawska J., Degórska A., Ferchmin M., Lenartowicz M., Sawicka-Kapusta K., Skłodowski J., Tarłowski A., Wierzbicki A., 2015. Raport o stanie środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP „Kampinos” w roku 2014. 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 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.
- Samoląg M., Tylkowski J., Winowski M., Kostrzewski A., 2015: Raport Stacji Bazowej ZMŚP Biała Góra za rok 2014. Biała Góra, maszynopis.
- Sapek A., 2009: Współczesne źródła chlorków w środowisku wód śródlądowych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 40, 455-464.
- Sawicka – Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Hajduk J. 2012: Ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w latach 2001-2009 z wykorzystaniem porostu Hypogymnia physodes. Monitoring Środowiska Przyrodniczego vol. 11.
- Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Kołada A., Białoskórska U., Typiak-Nowak D., 2015. Ocena stanu środowiska Stacji Bazowej ZMŚP Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2014. Warszawa, maszynopis.

- Stachyra P., Bartmiński P., Chmiel S., Gleń G., Gluza A., Głowacki S., Huruk S., Kałamucki K., Krukowski M., Marczakowski P., Plak A., Radliński B., Rawiak A., Siwek K., Tchórzewski M., 2015: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze Roztoczańskiego Parku Narodowego w roku 2014. Zwierzyniec, 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 geoekosystemów w warunkach narastającej antropopresji, M. Kejna, J. Uscka (Red.). Bibl. Monit. Środ.: 167-176.
- Szpikowska G., 2011. Uwarunkowania i zmienność chemizmu wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta). [W:] A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Vol. XXVIII, Biała Góra: 173-186.
- Szpikowska, G., Tylkowski, J., 2006: Denudation balance of the Upper Parsęta catchment in the years 2000-2004. Quaestiones Geographicae 25A, Series A, Wydawnictwo Naukowe UAM: 75-82.
- Szpikowski J., 2011: Stan geoekosystemów Polski w roku 2010 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2010b.pdf
- Szpikowski J., 2012: Stan geoekosystemów Polski w roku 2011 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2011.pdf
- Tylkowski, J., 2005: Sezony transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania rzek Pobrzeża Bałtyku. [W:] Plejstoceńskie i holocenne przemiany środowiska przyrodniczego Polski, K. Borówka (Red.), US, INoM, PTG, Szczecin: 58-62.
- Tylkowski J., 2013: Stan geoekosystemów Polski w roku 2012 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/raport_2012.pdf
- Tylkowski J., 2014: Stan geoekosystemów Polski w roku 2013 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2014/12/raport_2013.pdf
- 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.