

Dr 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 roku 2013
na podstawie badań
Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Biała Góra 2014

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	3
2. Zlewnie badawcze ZMŚP	6
3. Zlewnie badawcze ZMŚP a obszary Natura 2000	9
4. System pomiarowy Stacji Bazowych ZMŚP	14
5. Zakres wykonywanych programów pomiarowych przez Stacje Bazowe ZMŚP	21
6. Wybrane geowskaźniki ilościowe obiegu wody w geoekosystemach ZMŚP	30
7. Wybrane geowskaźniki jakościowe obiegu wody w geoekosystemach ZMŚP	42
8. Wskaźniki fizykochemiczne jakości wód powierzchniowych i podziemnych	66
9. Wpływ warunków wodnych na stan bioindykacji	73
10. Ocena stanu geoekosystemów Polski w roku 2013 na tle lat 1994-2012	77
11. Literatura	82

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z realizacją umowy 35/2012/F z dnia 19 września 2012 roku. Powyższa umowa została zawarta pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i dotyczy ona „Realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2012-2014”. Praca stanowi realizację zadania 2 „Opracowanie corocznych sprawozdań stan geoekosystemów Polski”, które określone zostało w IV etapie umowy. W opracowaniu przedstawiono stan geoekosystemów Polski w 2013 roku, z uwzględnieniem danych wieloletnich z okresu 1994-2012. Podstawę opracowania stanowiły raporty z dziewięciu Stacji Bazowych ZMŚP, które przedstawiają funkcjonowanie reprezentatywnych geoekosystemów dla wybranych stref krajobrazowych Polski w 2013 roku (Bochenek i in. 2014, Jóźwiak i in. 2014, Kejna i in. 2014, Kostrzewski i in. 2014, Krzysztofiak i in. 2014, Olszewski i in. 2014, Samołyk i in. 2014, Skotak i in. 2014, Stachyra i in. 2014). W pracy wykorzystano także dane monitoringowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata 1994-2013.

Przedmiotem badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego są geoekosystemy tworzące przestrzeń przyrodniczą: atmosferę, biosferę, pedosferę, litosferę, hydrosferę i antroposferę. Kompleksowe ujęcie przepływu energii i obiegu materii umożliwia przyjęcie zlewni rzecznej lub jeziornej jako podstawowej jednostki przestrzennej w badaniach przyrodniczych (Kostrzewski 1993, Kostrzewski 1995). Metodologia programu ZMŚP podporządkowana jest kompleksowemu ujęciu funkcjonowania środowiska przyrodniczego (Kostrzewski 1995), który realizuje cele badawcze w określeniu bilansu energii i materii w układzie zlewni rzecznej lub jeziornej oraz przepływu materii w profilu: atmosfera – roślinność – gleba. W zintegrowanym monitoringu badaniom poddane są również wybrane biotyczne elementy geoekosystemu, które spełniają rolę biowskaźników. W poniższym opracowaniu monitorowane elementy abiotyczne dotyczące ilościowych i jakościowych aspektów obiegu wody przedstawiono za pomocą geoindykatorów (Szpikowski 2011, 2012, Zwoliński 1998).

Głównym celem opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie oraz tendencjach rozwoju wybranych geoekosystemów Polski w 2013 roku na

tle ostatniego dwudziestolecia. W raportach ze Stacji Bazowych przedstawiono także informacje o rodzajach zagrożeń dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego badanych zlewni oraz propozycje działań, które pozwolą zachować ich zasoby przyrodnicze. Monitoring naukowo-badawczy prowadzony w wytypowanych - reprezentatywnych dla struktury krajobrazowej Polski - zlewniach ZMŚP dotyczył dwóch aspektów:

- monitoringu przepływu energii (wody) i obiegu materii (substancji rozpuszczonych) w geoekosystemach, który umożliwia wykonanie ilościowego bilansu wodnego oraz określenie 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 geoekosystemów, wybranych elementów przyrody ożywionej np. porostów, których stan stanowi skutek zmian bilansu energii, biogenów i elementów toksycznych.

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego ma charakter naukowo-badawczy i w odróżnieniu od monitoringów specjalistycznych ujmuje kompleksowo środowisko przyrodnicze 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 w ramach ZMŚP wyniki mogą stanowić podstawę sporządzenia prognozy, która dostarczy zasobu informacji niezbędnych do wykorzystania w działaniach 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 sporządzane są coroczne syntezy o stanie geoekosystemów Polski. Wykonywane od 2003 roku kompleksowe opracowania o stanie środowiska przyrodniczego, które przedstawiają związki przyczynowo-skutkowych pomiędzy komponentami środowiska przyrodniczego (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, Major 2007, 2008, Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013). Wcześniejsze opracowania roczne ZMŚP przedstawiały przede wszystkim wyniki uzyskane przez Stacje Bazowe w ramach realizacji poszczególnych abiotycznych i biotycznych programów badawczych (Zwoliński 1997, Kolander 1999, Kruszyk 2003, Mazurek, Zwoliński 2000, 2001, 2002).

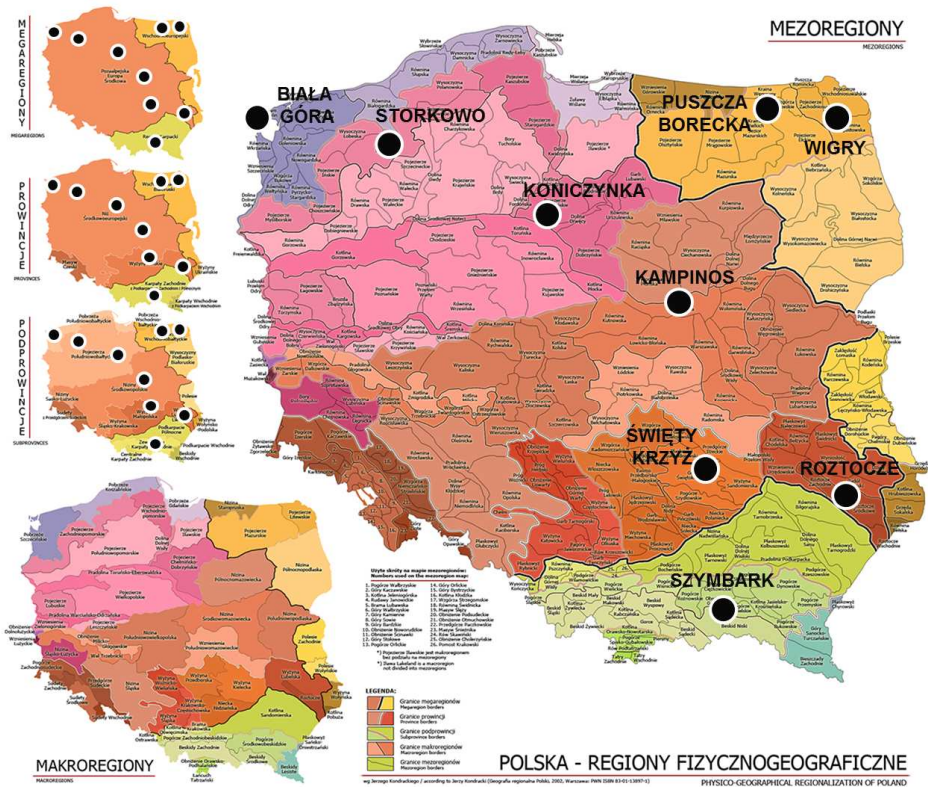
Syntetyczne opracowania o stanie wybranych geoekosystemów Polski zawierają informacje o aktualnych uwarunkowaniach, zagrożeniach i trendach rozwoju środowiska geograficznego. Przedstawiony poniżej raport za 2013 rok, podobnie jak syntezy za lata 2011 i 2012, został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki wdrożone przez Szpikowskiego (2011, 2012). W opracowaniu wskazano wieloletnie trendy zmian komponentów środowiska przyrodniczego badanych zlewni, ze wskazaniem wartości ekstremalnych w 2013 roku. Przedstawiono również stan środowiska przyrodniczego w nawiązaniu do wybranych parametrów chemicznych, np. uwzględnionych w Ramowej Dyrektywie Wodnej. Założenia, aby całościowe oceny stanu środowiska przyrodniczego sporządzane były o jak najbardziej obiektywne, ilościowo-jakościowe dane są przyjęte w zasadach programowych ZMŚP (Kostrzewski 1995).

Aktualny stan ZMŚP stwarza możliwości pozyskania obiektywnych danych ilościowych o stanie środowiska przyrodniczego, które stanowią podstawę formułowania prognoz jego rozwoju. Jednakże ze względu na krótkie serie pomiarowe nie wszystkie z nich mogą być wykorzystane i interpretowane. Zbyt krótkie serie pomiarowe niektórych programów badawczych (np. otrzymywanych z monitoringu biotycznego: wielkość i stan plech porostów, metale i siarka w porostach, fauna epigeiczna czy zdrowotność drzewostanów) oraz zbyt krótki staż kilku Stacji Bazowych ZMŚP (np. Biała Góra od 2009 roku i Roztocze od 2012 roku) nie pozwalają na wieloletnią, istotnie statystyczną analizę trendów i zmienności czasowo-przestrzennej. Niemniej dane ilościowe 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 czy określenia progów odporności środowiska na zagrożenia jego funkcjonowania.

2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP

Podstawowym obiektem badań w Zintegrowanym Monitoringu Środowiska Przyrodniczego jest zlewnia rzeczna lub jeziorna, w której zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze i stanowiska pomiarowe. Szeroki zakres komplementarnych badań stacjonarnych prowadzony jest wg standaryzowanych metod w dziewięciu Stacjach Bazowych ZMŚP (ryc. 1, tab. 1).



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)

W funkcjonującym obecnie systemie przestrzennym Stacji Bazowych można wyróżnić transekt południkowy, który nawiązuje do równoleżnikowego układu głównych stref krajobrazowych Polski: strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego - Biała Góra, Storkowo, Konieczynka, Puszcza Borecka, Wigry, strefa staroglacjalna Niżu Polskiego – Kampinos, strefa wyżynna – Roztocze, góry niskie – Święty Krzyż i góry

średnie - Szymbark. W ramach strefy młodoglacjalnej Niżu Polskiego można także wyznaczyć transekt równoleżnikowy, przebiegający przez Stacje: Biała Góra, Storkowo, Koniczynka, Puszcza Borecka, Wigry.

Najwięcej zlewni badawczych ZMŚP położonych jest w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego:

- - Jezioro Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra),
- - górna Parsęta (Stacja Bazowa Storkowo),
- - Jezioro Łękuk (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 (Żarska i in. 1998).

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 Niżu 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 (Wierzbicki 1998).

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 (Stachyra i in. 2014).

Geoekosystem badawczy Święty Krzyż obejmuje badaniemi zlewnię leśno-rolniczą w strefie niskich Gór Świętokrzyskich. Położona w masywie Łysogór, w Świętokrzyskim Parku Narodowym zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych jak i ponadregionalnych emisji przemysłowych, co spowodowało niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych (Józwiak i in. 2014).

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 (Gil, Bochenek 1998). 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.

Tabela 1. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych

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

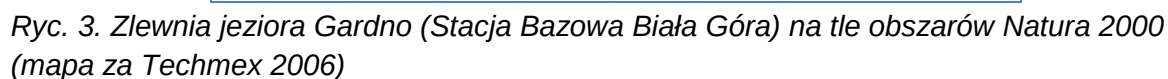
Stacja Bazowa Biała Góra realizuje program ZMŚP od pięciu lat a Stacja Bazowa Roztocze funkcjonuje od 2012 roku. Ze względu na krótki okres badawczy wyniki z tych Stacji Bazowych nie można w pełni wykorzystać do obliczania wskaźników środowiskowych i dla celów porównawczych z innymi Stacjami ZMŚP, np. ze względu na brak istotności statystycznej.

3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A OBSZARY NATURA 2000

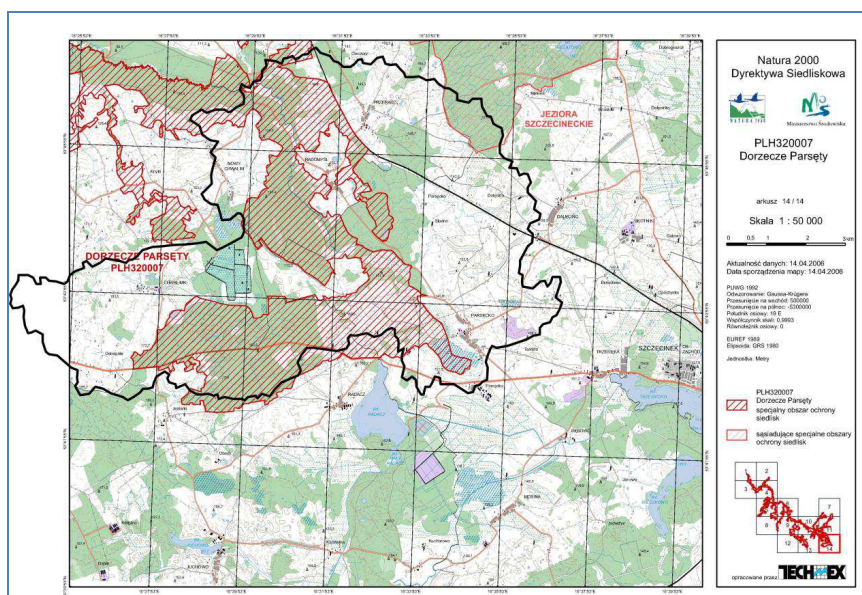
Na obszarach należących do sieci Natura 2000 położonych jest siedem zlewni badawczych ZMŚP, z których pięć znajduje się w Parkach Narodowych: Wolińskim, Wigierskim, Kampinoskim, Świętokrzyskim i Roztoczańskim (ryc. 2). Lokalizacja Stacji Bazowych na obszarach cennych przyrodniczo podnosi znaczenie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w zakresie ochrony siedlisk i 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.



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

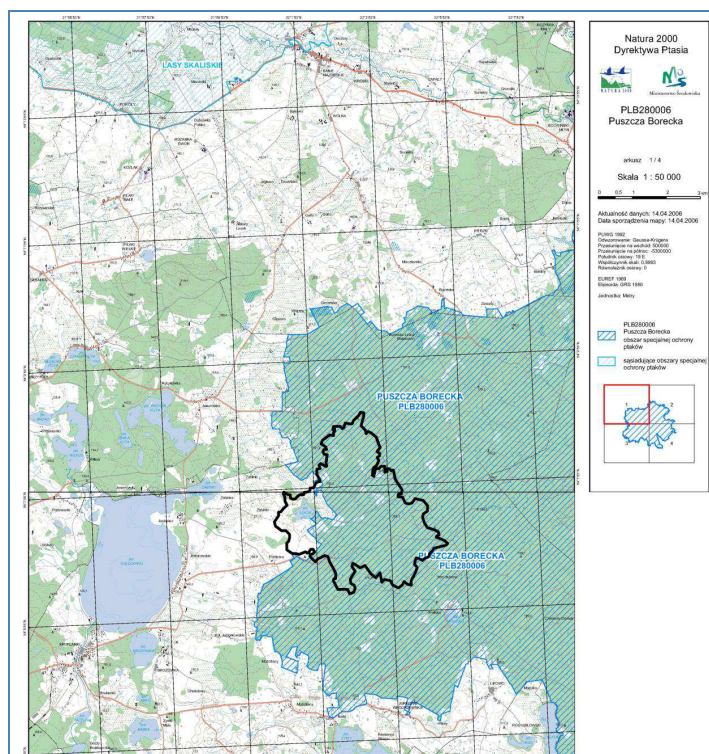


Około 35% powierzchni zlewni górnej Parsęty badanej przez Stację Bazową Storkowo wchodzi w skład Obszaru Natura 2000 *Dorzecze Parsęty (PLH320007)* i *Jeziora Szczecineckie (PLH 320009)*, (ryc. 4).



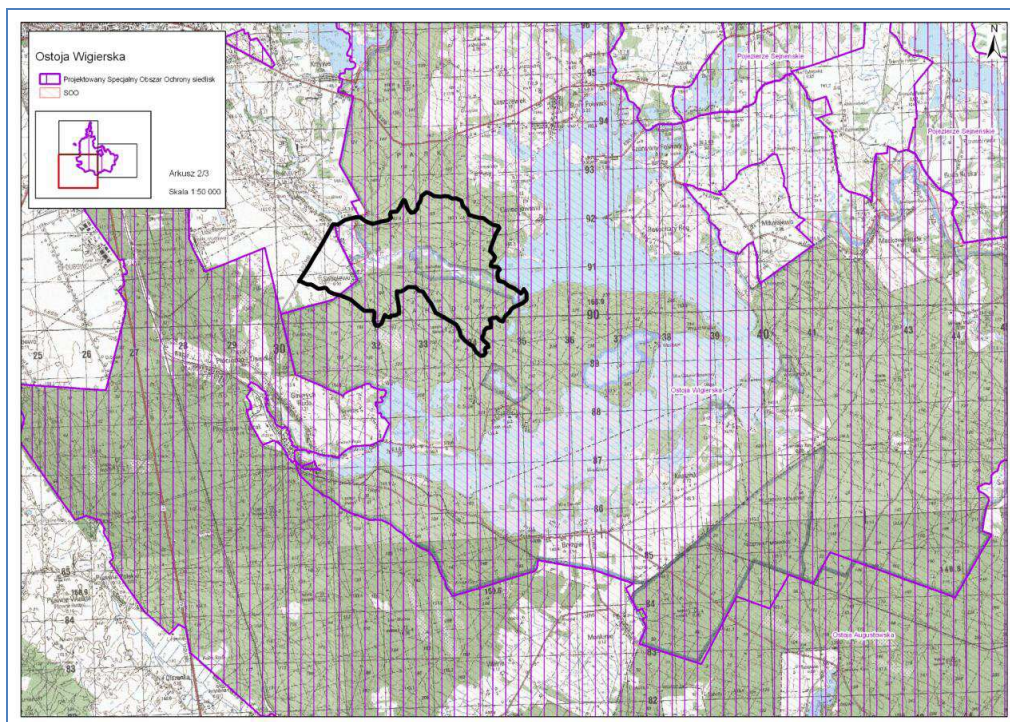
Ryc. 4. Zlewnia górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Zlewnia jeziora Łękek monitorowana przez Stację Bazową Puszcza Borecka w około 80% położona jest w granicach obszaru Natura 2000 *Puszcza Borecka (PLB280006)*, (ryc. 5).



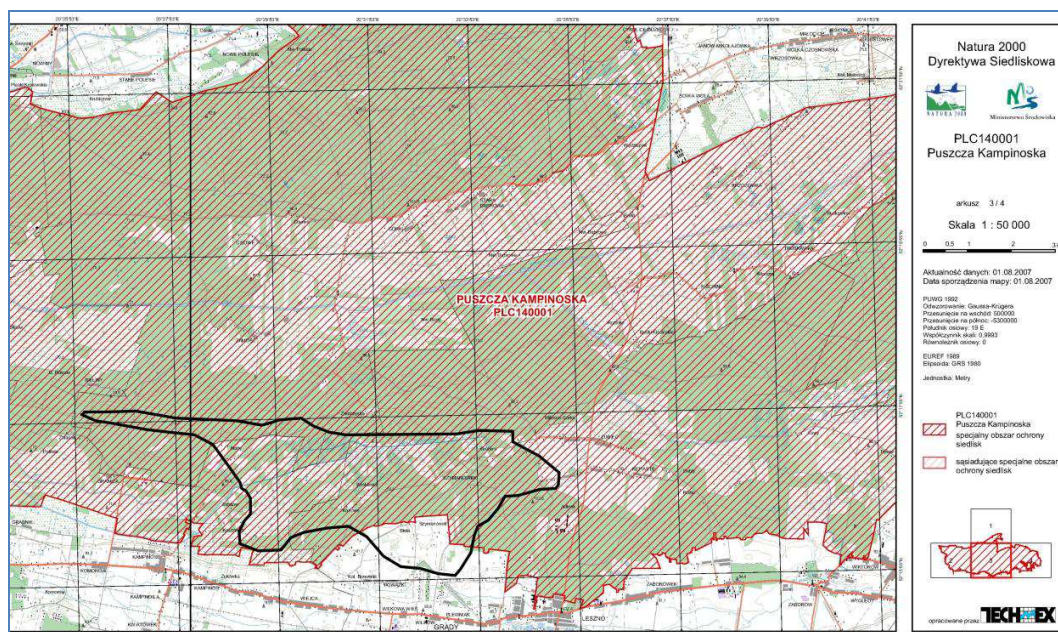
Ryc. 5. Zlewnia jeziora Łękek (Stacja Bazowa Puszcza Borecka) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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.



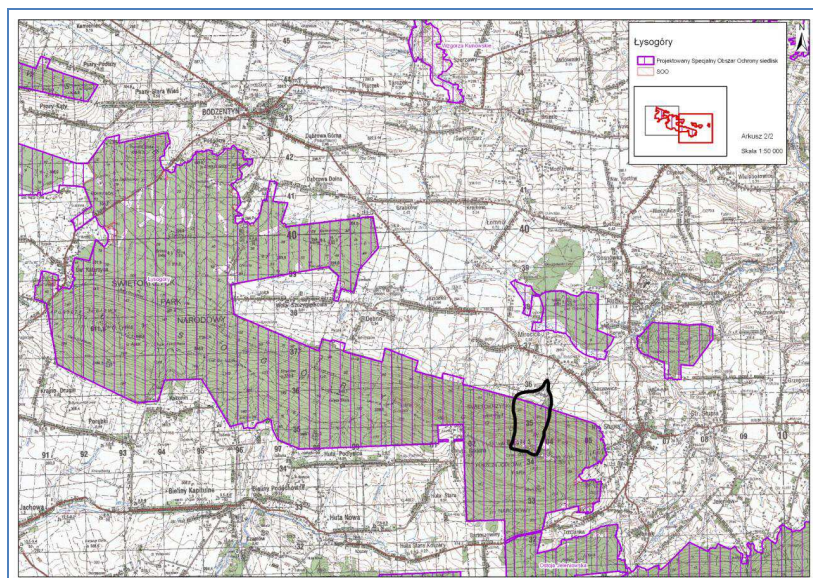
Ryc. 6. Zlewni różnicowa Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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).



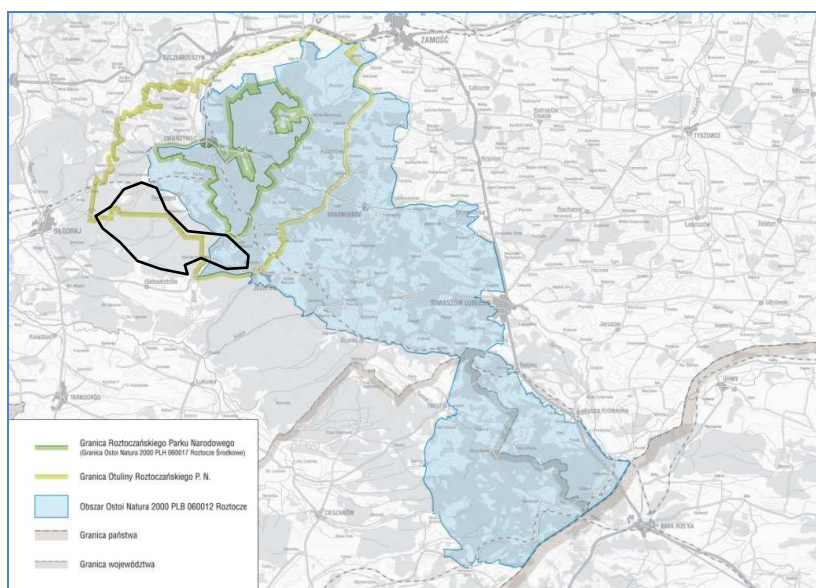
Ryc. 7. Zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

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.roztoczanski.pn.pl/RPNA4nr3.jpg>)

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

4. SYSTEM POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP

Obligatoryjny program badawczo-pomiarowy ZMŚP realizowany w 2013 roku w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Obowiązkowy program pomiarowy realizowany przez Stacje ZMŚP w 2013 r.

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	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 zrealizowały w 2013 roku obowiązkowy program podstawowy ZMŚP. Sytuacją niezależną od prowadzących monitoring należy wyjaśnić nie zrealizowanie programu M1 epifity nadrzewne w wyniku wycięcia drzew przez Stację w Szymbarku.

Stacje Bazowe ZMŚP realizowały w 2013 roku również program rozszerzony, który dotyczył m.in. analiz stężenia węgla organicznego (DOC), zjonizowanej krzemionki (SiO_2), fosforu fosforanowego (P-PO_4) i metali ciężkich (Fe, Mn, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) w wodach krążących w zlewniach badawczych, głównie przez Stacje Puszcza Borecka, Storkowo i Święty Krzyż.

Stacje Bazowe wykonywały ponadto programy specjalistyczne, które wynikają z indywidualności przyrodniczej położenia obszaru badań oraz dostosowane są do potrzeb i zaplecza organizacyjno-merytorycznego poszczególnych Stacji. W 2013 roku realizowano następujące programy specjalistyczne:

- morfodynamika wybrzeża klifowego (Biała Góra),
- zanieczyszczenie powietrza – pył PM 2,5; metale ciężkie i WWA, rtec (Puszcza Borecka),
- monitoring inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia, badania dynamiki zmian poziomu wód podziemnych i ich wpływu na podmokłe ekosystemy leśne, badania organizmów saproksylicznych w różnych ekosystemach leśnych (Wigry),
- monitoring fauny glebowej w agroekosystemach, monitoring populacji lęgowych dymówki, bilans promieniowania (Koniczynka),
- monitoring bociana białego, fauna epigeiczna kusakowate, fauna epigeiczna sprzążkowate, fauna epigeiczna mrówki, fauna epigeiczna pająki (Kampinos),
- monitoring Lęgowych Sów Leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych, monitoring obuwika pospolitego, monitoring dzwoneczka wonnego (Roztocze),
- erozja wodna gleb (Szymbark i Storkowo),
- depozycja i transformacja materii w hylosferze (Święty Krzyż).

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, Rostocze,
- 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 C1 jest realizowany przez 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 jest realizowany przez osiem Stacji Bazowych. Stacja Koniczynka nie realizuje programu C2 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, Rostocze (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 – dwa w Kampinosie, maksymalna - po dwadzieścia na

jednej powierzchni w Szymbarku). Próbki 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.

SPŁYW PO PNIACH C3

Program C3 jest realizowany przez pięć Stacji Bazowych (Biała Góra, Puszcza Borecka, Święty Krzyż, Roztocze i Szymbark), które na powierzchniach testowych posiadają znaczący udział drzewostanów liściastych. Obligatoryjnie program wykonywany jest tylko dla powierzchni badawczych z dominacją drzewostanu liściastego, dlatego 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 trzech (Biała Góra) do dziewięciu wytypowanych drzew (Roztocze), charakterystycznych dla miejscowych drzewostanów. Próbki są pobierane w cyklu tygodniowym lub miesięcznym.

ROZTWORY GLEBOWE F1

W 2013 roku program pomiarowy F1 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 objętość roztworów glebowych.

WODY PODZIEMNE F2

W 2013 roku hydrologicznym 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 częstością od 1/tydzień do 1/kwartał.

CHEMIZM OPADU ORGANICZNEGO – G2

Wszystkie Stacje Bazowe poza Koniczynką (brak lasów w zlewni badawczej) realizowały program G2. Chwytacze opadu organicznego najczęściej były lokowane w pobliżu stanowisk opadu podokapowego, w zróżnicowanych pod względem składu gatunkowego i wieku drzewostanach. Stacje pobierały opad organiczny za pomocą różnej liczby chwyaczy (od 3 do 30) o łącznej powierzchni od 0,7 do 1,7m². Próbkę pobierano w cyklu miesięcznym.

WODY POWIERZCHNIOWE RZEKI H1

Program H1 realizowany był w 2013 roku przez 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 dwóch stanowisk pomiarowych (na wejściu i wyjściu ze zlewni). W Storkowie program H1 jest realizowany dla dwóch zlewni: Parsęty i jej podsystemu – Młyńskiego Potoku, natomiast w Świętym Krzyżu na dwóch stanowiskach pomiarowych położonych w górnym i dolnym odcinku tego samego cieku. W Roztoczu pomiary hydrometryczne prowadzono na rzece Świerszcz na trzech stanowiskach: Malowany Most, Wygoda I i Wygoda II. Część Stacji (Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka i Roztocze) wyposażała punkty hydrometryczne w automatyczne rejestratory stanu wody, co umożliwia określenie przepływów dla krótkich interwałów czasowych. 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 prowadzony jest 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 cztery razy w roku z trzech głębokości: 1 m, 3 m i 5 m. W 2013 roku Puszcza Borecka pobierała próbki wód jeziornych jedenaście 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

W 2013 roku realizowano program uszkodzenia drzew i drzewostanów we wszystkich Stacjach Bazowych poza Koniczynką 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 2013 roku ze względu na wycięte drzewa Stacja Bazowa Szymbark nie realizowała programu M1. 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 ośmiu do dziesięciu 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 obrysy plech na wcześniej przygotowanych przezroczystych foliach formatu A4. W Stacjach Bazowych wyznaczono do monitoringu po około dziesięć 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 (pustułki pęcherzykowatej) na wytypowanych stanowiskach w zlewniach badawczych. Próbki są następnie przesyłane do zespołu specjalistycznego. Taki sposób realizacji programu D1 ma miejsce w ośmiu 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 dwóch do sześciu), na których zainstalowano pułapki (od trzech do pięciu na jednej powierzchni). Pozyskane próbki fauny biegaczowatych są wysyłane w przypadku Kampinosu do specjalistów z Katedry Ochrony Lasu SGGW.

5. ZAKRES WYKONYWANYCH PROGRAMÓW POMIAROWYCH PRZEZ STACJE BAZOWE ZMŚP

Zakres pomiarowy ZMŚP realizowany w roku 2013 w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zakres pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe w 2013 roku

BG – Biała Góra, ST – Storkowo, PB – Puszcza Borecka, WI – Wigry, KO – Konieczynka, 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 2013 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	ołów	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 2013 roku

C3	Chemizm spływu po pniach	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
		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
F1	Roztwory glebowe	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
		Zakres podstawowy (11)		

		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

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	ołów	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

		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 2013 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

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

Kod	Nazwa programu pomiarowego (realizowane przez specjalistów ZMSP)	Realizacja (stacje Bazowe ZMŚP)
E1	Gleby	ST
D1	Metale ciężkie i siarka w porostach	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
J1	Struktura i dynamika szaty roślinnej	RO
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 2013 roku wyniosła:

opad atmosferyczny: 1100,	opad podokapowy 400,
spływ po pniach 170,	roztwory glebowe 220,
wody podziemne 250,	wody rzeczne 1000,
wody jeziorne 90.	

Dla kontroli jakości uzyskiwanych wyników pomiarów i analiz chemicznych Stacje Bazowe w 2013 roku stosowały następujące metody obliczeniowe: sporządzanie bilansu jonowego oraz porównanie przewodności elektrolitycznej zmierzonej i obliczonej na podstawie stężeń składników jonowych i znanych z literatury współczynników przeliczeniowych. Dla kontroli jakości analiz hydrochemicznych przeprowadzono także międzylaboratoryjne badania

porównawcze metod oznaczania składników chemicznych w próbkach wodnych. Stacje Bazowe w zakresie pomiarów i analiz chemicznych korzystają częściowo z własnych pomiarów, a częściowo z usług innych laboratoriów (tab. 4).

Metody wstępnego przygotowania próbek i analityki laboratoryjnej w Stacjach Bazowych oraz w laboratoriach wykonujących oznaczenia dla Stacji Bazowych są zamieszczone w sprawozdaniach Stacji Bazowych, będących załącznikiem do niniejszego opracowania.

Tab. 4. Analityka laboratoryjna Stacji ZMSP w 2013 roku (analizy powietrza i wody)

Program pomiarowy	Biała Góra	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Symbark
Chemizm powietrza B1	WIOŚ Szczecin	WIOŚ Szczecin	własne, Propagator	Propagator	Propagator WIOŚ Toruń	WIOŚ Warszawa	własne	WIOŚ Lublin	Propagator
Chemizm opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej C1	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	LMŚ IOŚ	własne WIOŚ IOŚ, PIŁ	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne + WIOŚ Kraków
Chemizm opadu podokapowego C2	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	własne IOŚ	---	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne + WIOŚ Kraków
Chemizm spływu po pniach C3	własne + Storkowo	---	własne + LMŚ IOŚ	---	---	---	własne	własne	własne + WIOŚ Kraków
Roztwory glebowe F1	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	własne IOŚ	własne WIOŚ IOŚ, PIŁ	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne
Wody podziemne F2	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	WIOŚ Suwałki	własne WIOŚ IOŚ, PIŁ	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne + WIOŚ Kraków
Wody powierzchniowe-rzeki H1	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	WIOŚ Suwałki	własne WIOŚ IOŚ, PIŁ	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne + WIOŚ Kraków
Wody powierzchniowe – jeziora H2	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	---	---	---	---		---

6. WYBRANE GEOWSKAŹNIKI ILOŚCIOWE 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, które mogą znaleźć zastosowanie w raportach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W niniejszym opracowaniu wykorzystano kilka geowskaźników, które zastosowano w syntetycznych raportach ZMŚP z lat poprzednich (Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013). Zmienność czasowa i przestrzenna warunków wodnych stanowi główny czynnik zmian i przekształceń środowiska przyrodniczego w Polsce jak i w całej umiarkowanej strefie morfoklimatycznej. Dlatego przedstawione w poniższym opracowaniu geowskaźniki dotyczą ilościowych i jakościowych właściwości obiegu wody w zlewniach monitoringowych ZMŚP.

Programy badawcze ZMŚP dostosowane są do założenia, że 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 abiotycznej i biotycznej sfery środowiska przyrodniczego jest określenie ilości wody krążącej w geoekosystemie wraz ze wskazaniem dynamiki jej obiegu (rozkład czasowy opadów i odpływu rzeczny, występowanie susz, nasilonych opadów rozlewnych i nawałnych). Bardzo ważne jest także 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 wody ze zlewni oraz funkcjonowanie świata roślinnego i zwierzęcego (Bac i in. 1993).

W opracowaniu opisano dwa geowskaźniki charakteryzujące atmosferyczną dostawę wody, które określają zmiany zasobów wody w badanych geoekosystemach:

- wskaźnik termiczno-opadowy. Wartość wskaźnika termiczno-opadowego dobrze przedstawia warunki wilgotnościowe (wodne) dla danego roku na tle wielolecia. Wskaźnik ten uwzględnia zarówno ilość wody dostarczonej z opadem atmosferycznym do zlewni jak i pośrednio może określać jej straty w wyniku wzmożonego parowania, które jest powiązane z termiką powietrza. Dla długich serii pomiarowych możliwe jest określenie związku między warunkami termiczno-wilgotnościowymi danego roku a stanem przyrody ożywionej, np. dla monitoringu porostów czy fauny epigeicznej. Dysponując wieloletnimi badaniami można badać relacje, związki np. między zmianą powierzchni plech nadrzewnych czy zdrowotnością drzewostanów a warunkami termiczno-opadowymi. Przykładowo, w roku ciepłym i bardzo suchym (mała dostawa wody, wysokie parowanie) należy spodziewać się bardziej wyraźnego pogorszenia stanu przyrody ożywionej niż w przypadku roku chłodnego i suchego.
- wskaźnik tendencji opadowych. Wskaźnik ten bardzo dobrze oddaje trend i cykliczność zasobów wodnych (kilkuletnie cykle wzrostu i spadku dostawy wody) w zlewni oraz dobrze przedstawia warunki opadowe dla krótkich okresów, np. sezonów, miesięcy.

Wskaźnik termiczno-opadowy – Klasyfikacja termiczno-opadowa pozwala zaklasyfikować interwały czasowe (roczne i miesięczne) pod względem klimatycznych właściwości 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

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 siedem 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	$p > 150\% p_{\text{norm.}}$

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. 6). 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. 6). Dla temperatury powietrza zastosowano podział na jedenaście 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. 6. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)

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

Klasyfikacji termiczno-opadowej można dokonać jedynie dla Stacji dysponujących długimi seriami pomiarowymi. Dla Stacji w Białej Górze dysponującej zaledwie pięcioletnim okresem obserwacji meteorologicznych oraz dla Stacji Roztocze działającej od dwóch lat, nie można dokonać analizy termiczno-wilgotnościowej.

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 strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, z zachodu na wschód (Biała Góra -Storkowo - Puszcza Borecka - Wigry) od wartości 8,9°C w Białej Górze do 7,2°C w Wigrach (2009-2013). 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 Stacji Bazowych 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).

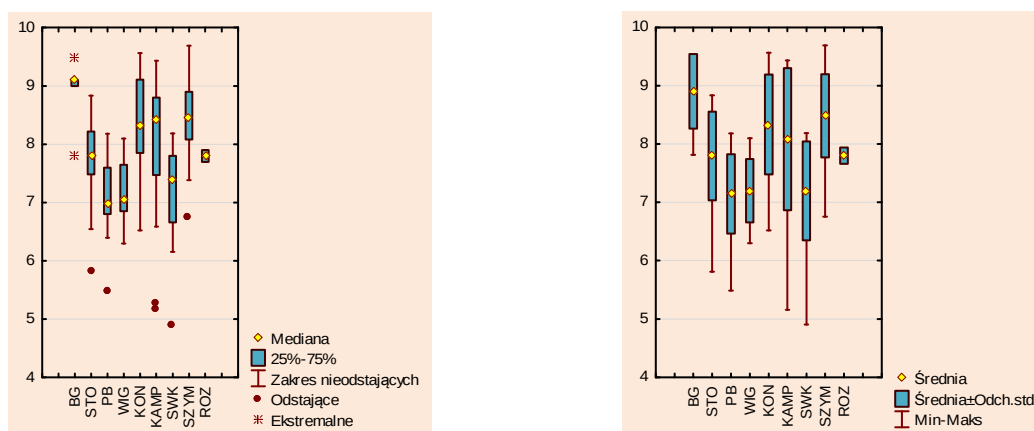
Statystyki opisowe średniej rocznej temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 7. Dokonano opisu statystycznych miar położenia, zmienności oraz asymetrii i koncentracji średniej rocznej temperatury powietrza. Celem analizy miar położenia elementów pogody było określenie ich 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 $R=x_{\max}-x_{\min}$, 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).

Opracowanie statystyczne opadów atmosferycznych dla Stacji ZMŚP ukazuje zmienność regionalną warunków opadowych w Polsce. Największa zmienność średniej rocznej temperatury powietrza występuje w centralnej części Polski (odchylenie standardowe w Kampinosie wynosi 1,2°C, a w Koniczynie i na Świętym Krzyżu 0,9°C). W Kampinosie stwierdzono największą amplitudę 4,3°C oraz najwyższy współczynnik zmienności 15,1%. Ujemna skośność rozkładu temperatury w Stacjach Bazowych świadczy o lewostronnej asymetrii i niższych wartościach średnich niż mediany czy wartości modalnej (tab. 7).

Tab. 7. Statystyki opisowe średniej rocznej temperatury powietrza w Stacjach ZMŚP. 1995-2012 (Storkowo ST, Puszcza Borecka PB, Koniczynka KO, Kampinos KA, Szymbark SZ), 1999-2012 (Święty Krzyż ŚK), 2002-2013 (Wigry WI), 2009-2013 (Biała Góra BG), 2012-2013 (Roztocze RO).

Stacja	Średnia	Ufność -95%	Ufność 95%	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny - Kwartyl.	Górny - Kwartyl.	Percentyl 10	Percentyl 90	Różnica	Wariancja	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Skośność	Kurtoza
BG	8,9	8,1	9,7	9,1	7,8	9,5	9,0	9,1	7,8	9,5	1,7	0,4	0,64	7,2	-1,7	3,6
ST	7,8	7,4	8,2	7,8	5,8	8,8	7,5	8,2	6,5	8,8	3,0	0,6	0,76	9,7	-0,9	1,5
PB	7,2	6,8	7,5	7,0	5,5	8,2	6,8	7,6	6,4	8,1	2,7	0,5	0,68	9,5	-0,4	0,5
WI	7,2	6,9	7,5	7,1	6,3	8,1	6,9	7,7	6,8	7,9	1,8	0,3	0,54	7,5	0,3	-0,6
KO	8,3	7,9	8,6	8,3	6,5	9,6	7,9	9,1	6,8	9,4	3,1	0,7	0,86	10,3	-0,6	-0,2
KA	8,1	7,5	8,7	8,4	5,2	9,4	7,5	8,8	5,3	9,4	4,3	1,5	1,22	15,1	-1,5	1,7
ŚK	7,2	6,7	7,7	7,4	4,9	8,2	6,7	7,8	6,2	8,0	3,3	0,7	0,85	11,8	-1,5	2,8
RO	7,8	6,5	9,1	7,8	7,7	7,9	7,7	7,9	7,7	7,9	0,2	0,02	0,14	1,8		
SZ	8,5	8,1	8,8	8,5	6,8	9,7	8,1	8,9	7,4	9,4	2,9	0,5	0,71	8,4	-0,6	0,7

Zmienność przestrzenną temperatury powietrza w badanych geoekosystemach w odniesieniu do 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. w Kampinosie lata 1995 ($6,2^{\circ}\text{C}$) i 1996 ($5,2^{\circ}\text{C}$), na Świętym Krzyżu 2010 rok ($4,9^{\circ}\text{C}$), w Szymbarku w roku 1996 ($6,8^{\circ}\text{C}$). Nie stwierdzono ekstremalnych termicznie lat dla badanych Stacji ZMŚP. Stwierdzone przypadki zdarzeń odstających i ekstremalnych w Stacjach w Białej Górze i Roztocze nie są w pełni zadowalające, gdyż wynikają z bardzo krótkiej serii pomiarowej.



Ryc. 10. Klasyfikacja termiczna w Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie średniej rocznej temperatury powietrza: 1995-2013 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2013 (Święty Krzyż), 2002-2012 (Wigry), 2009-2013 (Biała Góra), Roztocze (2012-2013).

Wskaźnik klasyfikacji termicznej przedstawia znaczną zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza (tab. 8). Znaczne różnice termiczne kolejnych lat stwierdzone na Stacjach Bazowych 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 trzy lata obserwacji (2011-2013) zakwalifikować można jako normalne pod względem termicznym (Storkowo, Puszcza Borecka, Kampinos) lub jako lekko ciepłe i ciepłe (Koniczynka, Święty Krzyż i Szymbark). Rok 2013 w czterech Stacjach Bazowych był rokiem normalnym (Storkowo, Puszcza Borecka, Kampinos i Święty Krzyż), w dwóch Stacjach lekko ciepłym (Koniczynka, Szymbark). Wyjątkowa sytuacja termiczna wystąpiła w Stacji Wigry, gdzie 2013 rok zakwalifikowano jako ciepły.

Tab. 8. Roczna klasyfikacja termiczna (1994-2013) 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							

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

Prezentowana klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP ze względu jeszcze zbyt krótki okres pomiarowy 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 w kierunku wschodnim, od Storkowa 699 mm i Puszczy Boreckiej 707 mm do Wigier 618 mm (2002-2013). Zmniejszanie się ilości opadów zachodzi również w transekcie południkowym niżowej części Polski, od Storkowa (711 mm) do Koniczynki (577 mm) i Kampinosu (530 mm), (1995-2013). W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich lokalizacji na obszarach górskich (Święty Krzyż 708 mm i Szymbark 861 mm).

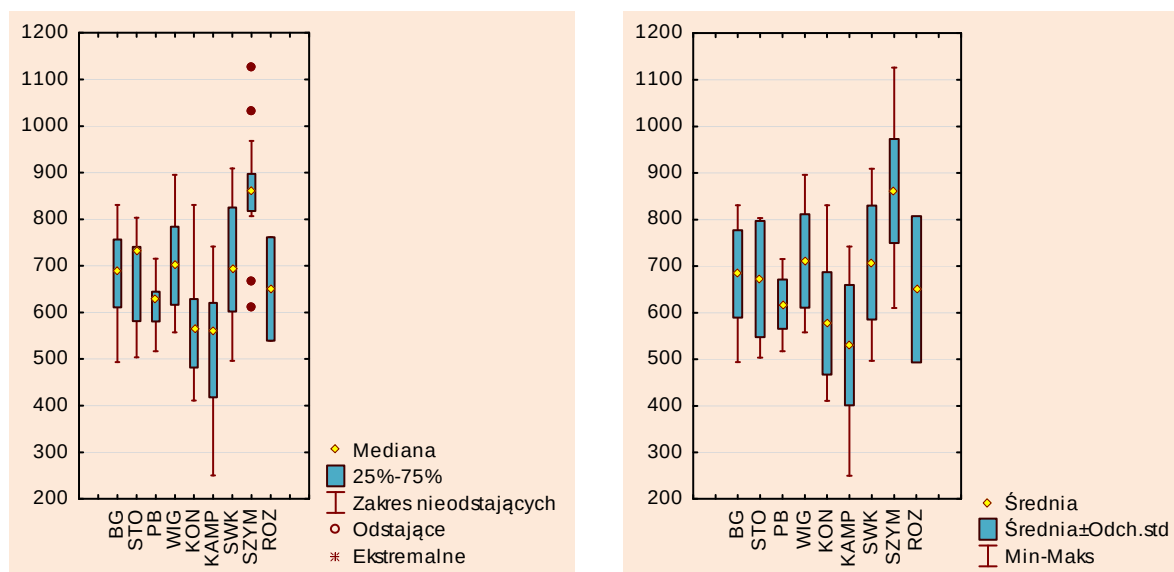
Statystyki opisowe rocznej sumy opadów w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 9. Największa zmienność opadów występuje w centralnej części Polski (odchylenie standardowe w Kampinosie i na Świętym Krzyżu wynosi 120-130 mm). Największą amplitudę rocznej sumy opadów stwierdzono na południu, w regionach górskich, zwłaszcza w Szymbarku (516 mm).

Tab. 9. Statystyki opisowe rocznej sumy opadów atmosferycznych w Stacjach ZMŚP. 1995-2013 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2013 (Święty Krzyż), 2002-2012 (Wigry), 2009-2013 (Biała Góra), Roztocze (2012-2013).

Stacja	Średnia	Ufność -95%	Ufność 95%	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny - Kwartyl.	Górny - Kwartyl.	Percentyl 10	Percentyl 90	Rozstęp	Wariancja	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Skośność	Kurtoza
BG	672,3	517,5	827,1	731,9	503,7	803,5	581,4	740,9	503,7	803,5	299,8	15540	124,7	18,5	-0,59	-1,8
ST	711,2	662,8	759,6	704,2	557,7	895,7	616,1	784,1	564,8	868,7	338,0	10096	100,5	14,1	0,28	-0,7
PB	683,0	637,9	728,2	689,2	493,7	831,0	611,0	756,5	561,1	827,2	337,4	8780	93,7	13,7	-0,25	-0,6
WI	618,3	584,6	652,0	628,9	517,0	715,2	580,9	644,5	577,4	679,4	198,2	2818	53,1	8,6	-0,05	0,3
KO	577,0	524,0	630,0	566,5	411,1	831,0	481,7	629,0	436,5	766,3	419,9	12102	110,0	19,1	0,72	0,3
KA	530,4	468,1	592,8	559,7	250,2	741,7	417,7	620,9	357,7	706,3	491,5	16727	129,3	24,4	-0,38	-0,2
ŚK	707,7	639,9	775,5	693,8	496,4	908,9	602,2	825,4	546,8	849,8	412,5	14993	122,4	17,3	-0,05	-1,0
RO	650,1	760,3	2060,5	650,1	539,1	761,1	539,1	761,1	539,1	761,1	222,0	24642	157,0	24,1		
SZ	861,2	807,3	915,1	859,4	610,4	1126,1	817,5	897,3	666,0	1031,3	515,7	12516	111,9	13,0	0,06	2,0

Na rycinie 11 przedstawiono zmienność czasową i przestrzenną rocznej sumy opadów atmosferycznych w badanych zlewniach. Warto zaznaczyć, że cztery przypadki odstające odnotowano jedynie w górskiej Stacji Szymbark. Szymbark

cehuje się występowaniem lat odstających o wartościach rocznej sumy opadów zarówno znacznie wyższych jak i niższych od normy wieloletniej.



Ryc. 11. Warunki opadowe w Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie rocznych sum opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP. 1995-2013 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2013(Święty Krzyż), 2002-2012 (Wigry), 2009-2013 (Biała Góra), Roztocze (2012-2013).

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność warunków opadowych we wszystkich Stacjach Bazowych (tab. 10). Szczególnie suchy okres przypadł na lata 2000-2006 (poza Wigrami). Lata 2003 i 2006 zadecydowały o największym niedoborze opadów w badanym dwudziestoleciu. Natomiast okres 2007-2011 charakteryzował się występowaniem rocznych opadów o sumie normalnej bądź wyższej od wartości normalnych, co stanowić mogło odbudowę zasobów wodnych w zlewniach badawczych. Natomiast lata 2012 i 2013 pod względem opadowym cechowały się bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym. Zauważalna jest pewna prawidłowość zmniejszonej dostawy wody wraz z opadami atmosferycznymi do zlewni górskich, w Stacjach na Świętym Krzyżu Krzyż i w Szymbarku. W 2013 roku specyficzna sytuacja opadowa wystąpiła w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, gdzie w Storkowie 2013 rok był bardzo suchy, na Wigrach normalny a w Puszczy Boreckiej i Koniczynie wilgotny. Taka sytuacja świadczy o dużej niejednorodności przestrzennej opadów, co jest typowe dla klimatu Polski (tab. 10).

Tab. 10. 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							

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

Klasyfikacja termiczno-opadowa w 2013 roku dla poszczególnych Stacji Bazowych wskazuje na niekorzystne zjawisko, które związane było z niedoborem wody (rok suchszy od normalnego) w zlewniach położonych w NW części Polski (zlewnia górnej Parsęty w Storkowie) i w zlewniach o charakterze górskim w centralnej Polsce (zlewnia na Świętym Krzyżu), (tab. 11). W przypadku Świętego Krzyża a zwłaszcza Storkowa 2013 rok był normalny pod względem termicznym, ale atmosferyczna dostawa wody była niższa od normalnej. Taka sytuacja pogarsza zasoby wodne w zlewniach. Niekorzystna sytuacja termiczno-opadowa wystąpiła także w Wigrach i Szymbarku, gdzie roczna suma opadów atmosferycznych była na poziomie normalnym, ale pod względem termicznym 2013 rok był cieplejszy od wartości normalnych, co spowodowało większą ewapotranspirację i zmniejszoną retencję wody w geoekosystemach. W pozostałych zlewniach w 2013 roku występowała raczej korzystna sytuacja termiczno-wilgotnościowa. Najbardziej

sprzyjające warunki do wzrostu retencji wodnej wystąpiły w Kampinosie, gdzie 2013 rok był normalny termicznie, ale bardzo wilgotny pod względem opadowym.

Tab. 11. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP w 2013 roku

Rok kalendarzowy 2013	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Szymbark
Klasyfikacja opadowa	Bardzo suchy	Wilgotny	Normalny	Wilgotny	Bardzo wilgotny	Suchy	Normalny
Klasyfikacja termiczna	Normalny	Normalny	Ciepły	Lekko ciepły	Normalny	Normalny	Lekko ciepły

Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) – Wskaźnik ten został opracowany w Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie (Szpikowski 2006) i analizowany w raportach za lata 2010-2012 (Szpikowski 2011, 2012, Tylkowski 2013). 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.

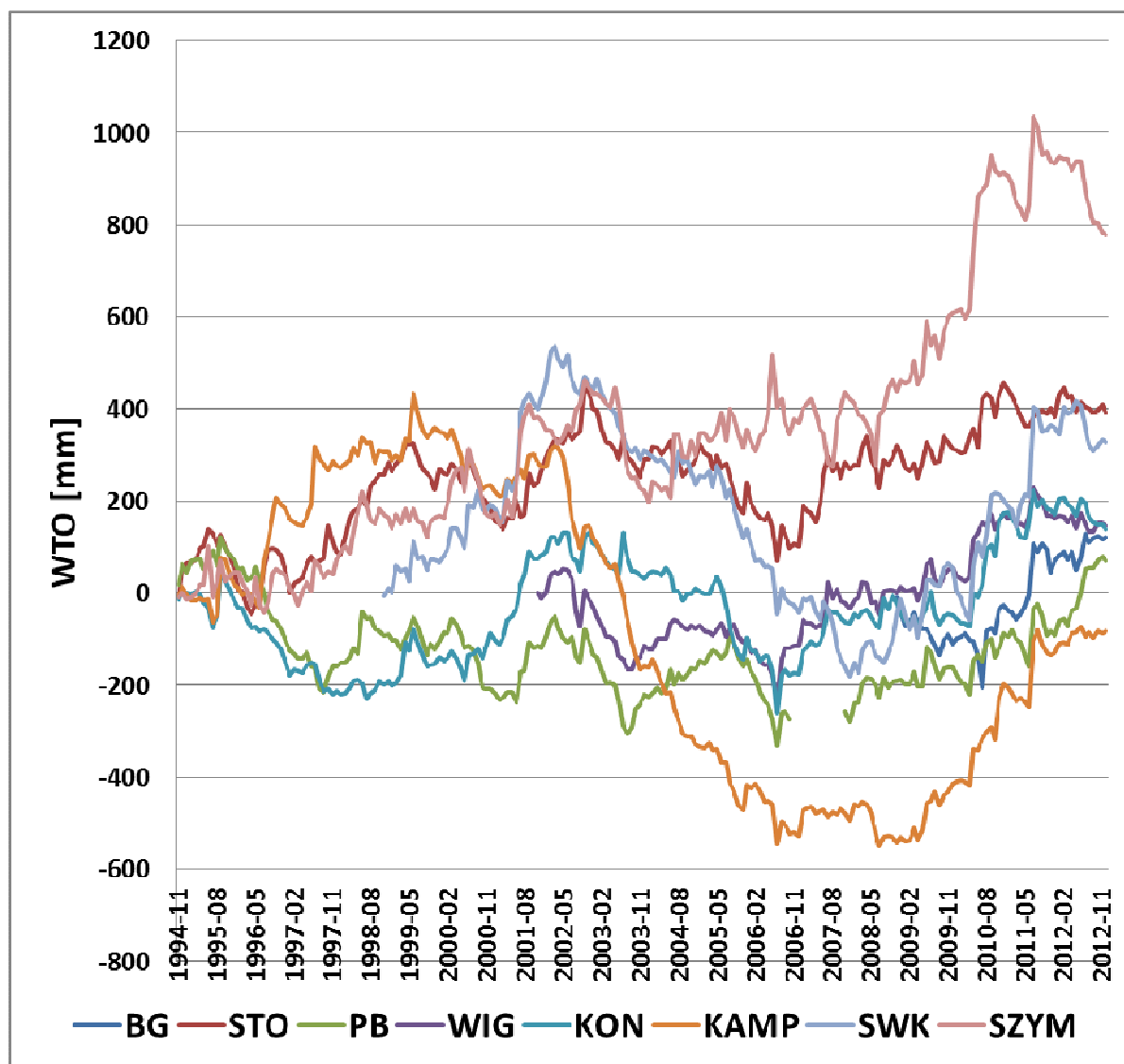
Obliczenie WTO polega na:

- 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 2013 minus średnia suma opadu dla lipca z wielolecia 1994-2013),
- 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 fluktuacji zasobów wodnych w zlewni (Szpikowski 2012).

Przebieg wartości wskaźnika tendencji opadowych dla Stacji Bazowych z lat 1994-2013 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 znacznie krótszych seriach pomiarowych – Święty Krzyż (od 1999 r.), Wigry (od 2002 r.) i Biała Góra (od

2009 r.). Dla Stacji Roztocze, która dysponuje zaledwie dwuletnim okresem pomiarowym analizy wskaźnika WTO nie przeprowadzono.



Ryc. 12. Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) dla Stacji Bazowych ZMŚP (1994-2013)

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 Niżu Polskiego wpływa na podobną tendencję zmienności czasowej WTO. Dla wymienionych stacji ZMŚP wskaźnik WTO charakteryzuje się bardzo zmiennym przebiegiem w okresie ostatnich dwudziestu lat, o charakterze sinusoidalnym, czego przykładem jest dynamika czasowa WTO w Storkowie. Dla Storkowa maksima wartości wskaźnika wystąpiły głównie w latach 1995, 1999, 2002, 2008 i 2011 a minima w latach 1996, 2001 i 2006. 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 (Szpikowski 2012). 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 Konieczynki, Puszczy Boreckiej i Szymbarku wykazuje podobne jak w Storkowie tendencje fluktuacji zasobów wodnych. W strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego stwierdzić można zatem występowanie około czteroletniej zmienności WTO, gdzie w zlewniach polski północnej obserwowano około 3-4 letnie okresy wzrostu i następnie około 3 letnie okresy spadku atmosferycznej dostawy wody.

Natomiast w strefie staroglacjalnej Niżu Polskiego, w Kampinosie przebieg wskaźnika WTO jest znacznie bardziej nieregularny i posiada dłuższy cykl zmienności – około siedmioletni. Dla Kampinosu nadwyżka wody występowała w latach 1996-2003 a bardzo znaczny deficyt wody obserwowano od 2005 do 2010 roku. Od 2010 roku można zauważyć odbudowę zasobów wodnych w zlewni Kanału Olszowieckiego, czego przejawem jest tendencja wzrostowa wskaźnika WTO.

W strefie geoekosystemów górskich (Święty Krzyż, Szymbark) przebieg wskaźnika podobnie jak w strefie młodoglacjalnej posiada około czteroletnią cykliczność, ale lata wzrostu czy spadku zasobów wodnych nie pokrywają się z tendencjami obserwowanymi w Polsce północnej. Od 2011 roku obserwowany jest spadek atmosferycznej dostawy wody w Stacji w Szymbarku, co obecnie może wpływać na pogorszenie zasobów wodnych w zlewni Bystrzanki i negatywnie wpływać na środowisko biotyczne.

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 znacząco zasobów wodnych w zlewniach. W 2013 roku przebieg wskaźnika WTO na większości Stacji odzwierciedlał pewną stabilizację lub bardzo nieznaczną obniżkę zasobów wodnych w zlewniach.

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 raportu za 2012 rok (Tylkowski 2013).

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 krążenia 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 w geoekosystemach zewnętrznych (poza zlewniami ZMŚP). Analiza ładunków substancji rozpuszczonych w opadach atmosferycznych i odpływie rzeczonym pozwala na określenie właściwości obiegu materii w zlewniach ZMŚP - za pomocą bilansu denudacyjnego.

W opracowaniu opisano jedenaście geowskaźników charakteryzujące jakość wód krążących w badanych zlewniach. Przedstawione poniżej geowskaźniki przedstawiają trendy i dynamikę czasowo-przestrzenną zmian odczynu, mineralizacji wód oraz czynników kwasogennych. Wysokie stężenia i ładunki jonów kwasogennych (S-SO₄, N-NO₃), podwyższona mineralizacja SEC oraz obniżony odczyn powodują degradację środowiska przyrodniczego, zwłaszcza sfery biotycznej.

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
- bilans jonowy siarki siarczanowej S-SO₄ i azotu azotanowego N-NO₃ (czynników kwasogennych)
- bilans denudacyjny
- wskaźniki eutrofizacji wód powierzchniowych

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 zastosowany przez Michalską (2000) 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) w różnych geoeosystemach Polski.

W zakresie przewodności elektrolitycznej wskaźnik posiada zróżnicowanie na 6 klas jakościowych (tab. 12).

Tab. 12. 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

W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych zawiera 5 klas jakościowych (tab. 13).

Tab. 13. 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

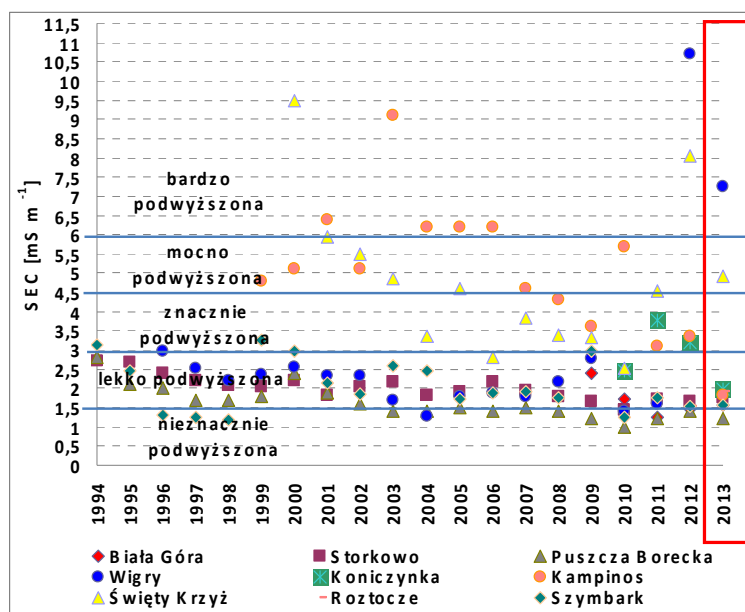
Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów atmosferycznych w 2013 roku hydrologicznym w zakresie średniej ważonej przewodności elektrolitycznej SEC charakteryzował się następującymi właściwościami (ryc. 13):

- przewodność nieznaczna – stwierdzono tylko w Puszczy Boreckiej
- przewodność lekko podwyższona – stwierdzono w 6 Stacjach Bazowych:
Biała Góra, Storkowo, Konieczynka, Kampinos, Roztocze i Szymbark,
- przewodność mocno podwyższona – stwierdzono w Świętym Krzyżu,
- przewodność bardzo podwyższona – stwierdzono w Wigrach.

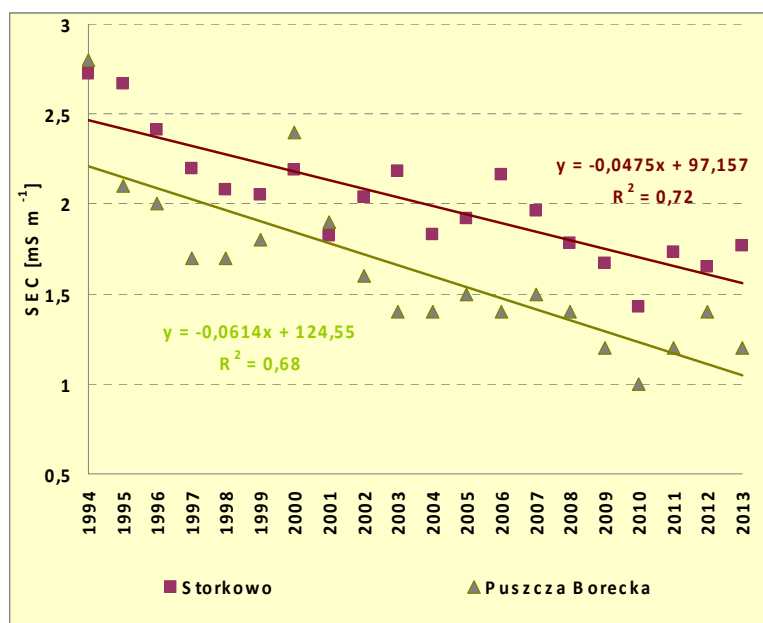
Generalnie jakość opadów atmosferycznych w 2013 roku uległa nieznacznej poprawie, gdyż siedem Stacji mieści się w zakresie mineralizacji opadów nieznacznie lub lekko podwyższonej. Tylko w Stacji na Świętym Krzyżu i w Wigrach wartość SEC wykazywała podwyższone wartości, aczkolwiek nastąpił spadek zanieczyszczenia opadów atmosferycznych w odniesieniu do poprzedniego roku, wartość SEC była niższa niż w roku ubiegłym. Zastanawiająca jest przyczyna bardzo podwyższonej wartości SEC opadów atmosferycznych utrzymująca się od 2012 roku w Stacji Wigry.

Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej dla większości Stacji Bazowych generalnie wskazuje na korzystny trend obniżania się stężenia składników rozpuszczonych w wodach opadowych i w konsekwencji mniejszej dostawy zanieczyszczeń. Niekorzystna sytuacja występuje jedynie w NE Polsce, na Stacji w Wigrach. Jednakże istotny statystycznie trend ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano jedynie dla Stacji posiadających bardzo długie serie pomiarowe, dla Storkowa i Puszczy Boreckiej (ryc. 14). Dziesięcioletni trend spadku SEC wynosi 0,4 mS/m w Storkowie i 0,6 mS/m w Puszczy Boreckiej. Roczny spadek przewodności elektrolitycznej właściwej w tych Stacjach można oszacować na 0,05 mS/m. W 2013 roku w odniesieniu do poprzedniego roku odnotowano znaczny spadek sumarycznej ilości składników rozpuszczonych w wodach opadowych. Opady atmosferyczne o

dobrej jakości (o nieznacznie i lekko podwyższonej przewodności) występowały w aż siedmiu badanych geoekosystemach.



Ryc. 13. Zmienność czasowa SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w roku 2013 hydrologicznym na tle wielolecia



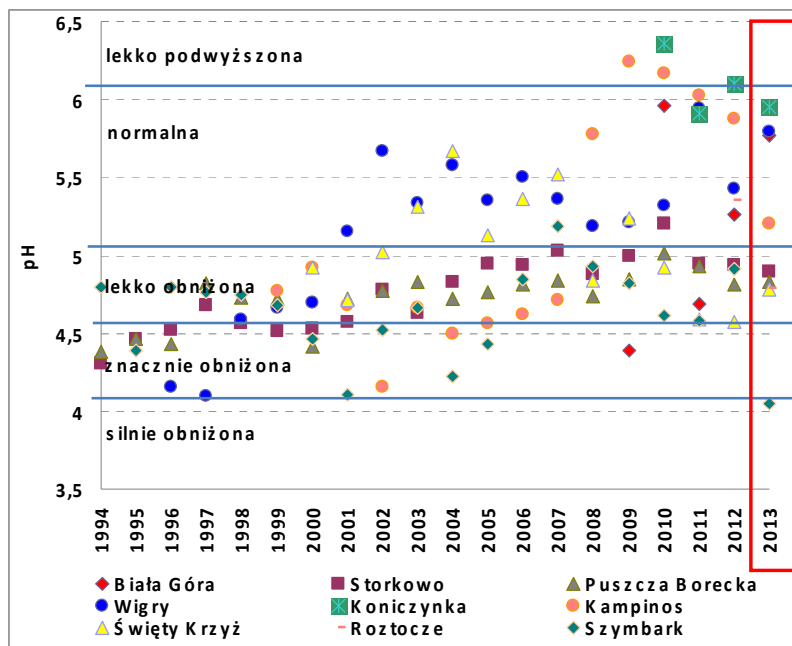
Ryc. 14. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo i Puszcza Borecka

Zakwaszenie wód opadowych w 2013 roku hydrologicznym w Stacjach ZMŚP wyrażone wartościami pH można zaliczyć do klas (ryc. 15):

- pH silnie obniżone – stwierdzono w Szymbarku,
- pH lekko obniżone – stwierdzono w 3 Stacjach: Storkowo, Puszcza Borecka i Świętym Krzyżu,

- pH normalne – stwierdzono w 5 Stacjach: Biała Góra, Wigry, Koniczynka, Kampinos i Roztocze.

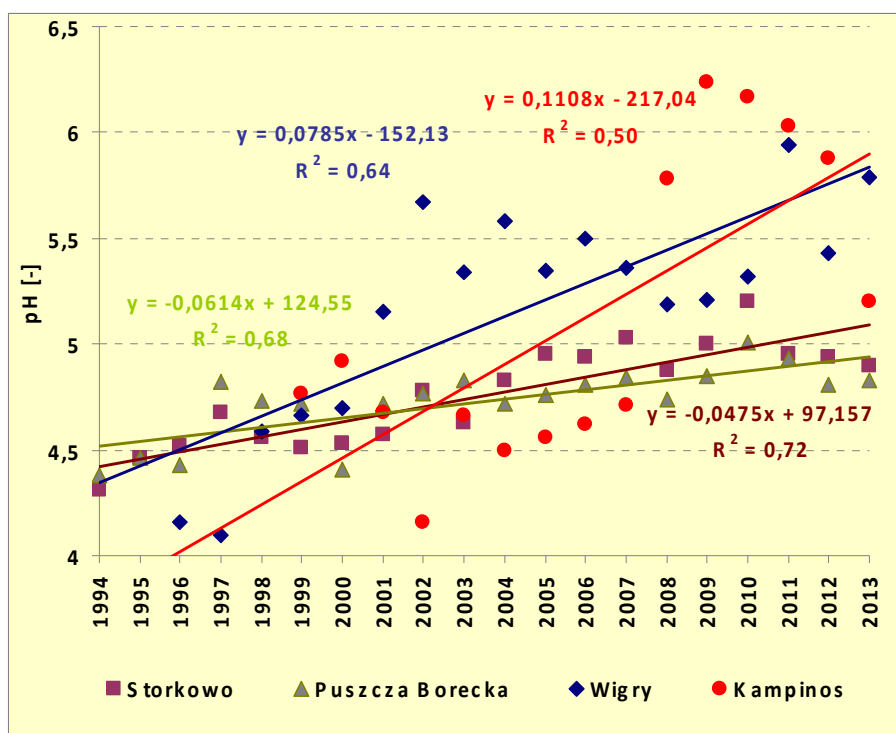
Odczyn opadów atmosferycznych w 2013 roku był bardzo podobny jak w roku poprzednim. W zdecydowanej większości Stacji odczyn opadów cechował się dobrą jakością - pH zbliżone do klasy normalnej. Jedynie w SE Polsce, w Stacji w Szymbarku zakwaszenie opadów silnie wzrosło, czego przejawem jest silna obniżenie się wartości pH.



Ryc. 15. Zmienność czasowa kwasowości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2013 roku hydrologicznym na tle wielolecia

Zmienność czasowa odczynu wód opadowych wykazuje korzystną tendencję do zwiększania wartości pH w Stacjach Bazowych ZMŚP, z wyjątkiem Stacji Szymbark, dla której odnotowano obniżanie pH i wzrost kwasowości opadów. Istotny statystycznie trend poprawy jakości odczynu opadów ($p < 0,05$, test Mann-Kendalla) odnotowano dla Storkowa, Puszczy Boreckiej, Wigier i Kampinosu (ryc. 16). Trend dziesięcioletni spadku kwasowości wynosi 0,35 pH dla Storkowa i 0,23 pH dla Puszczy Boreckiej, 0,67 pH dla Wigier i 0,97 pH dla Kampinosu. W 2013 roku w porównaniu z 2012 rokiem odnotowano małą zmienność kwasowości opadów w badanych geoekosystemach. Dobre jakościowo opady o odczynie normalnym i lekko obniżonym występowały w ośmiu badanych zlewniach. Jedynie w zlewni Bystrzanki, w Szymbarku stwierdzono występowanie opadów o słabej jakości, przejawiające się silnie obniżonym odczynem.

Cechą charakterystyczną zmienności odczynu opadów w Polsce w ostatnich dwóch dekadach był znaczny spadek kwasowości opadów atmosferycznych. W Stacjach Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry (ryc. 15) odczyn opadów z poziomu charakterystycznego dla wód znacznie zakwaszonych utrzymywał się do lat dziewięćdziesiątych XX w. W XXI wieku odczyn wzrósł do lekko obniżonego lub normalnego. Pod względem czasowo-przestrzennym największy progres dla 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 w Stacji Szymbark, a dla Stacji Święty Krzyż zauważalna w ostatnich pięciu latach tendencja do obniżania odczynu opadów i pogorszenia ich jakości (ryc. 15).



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

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 glebie i środowisku 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 liczbowa wskaźnika wskazuje na pozytywną zmianę i większy udział opadów czystych i nie zanieczyszczonych (Szpikowski 2012).

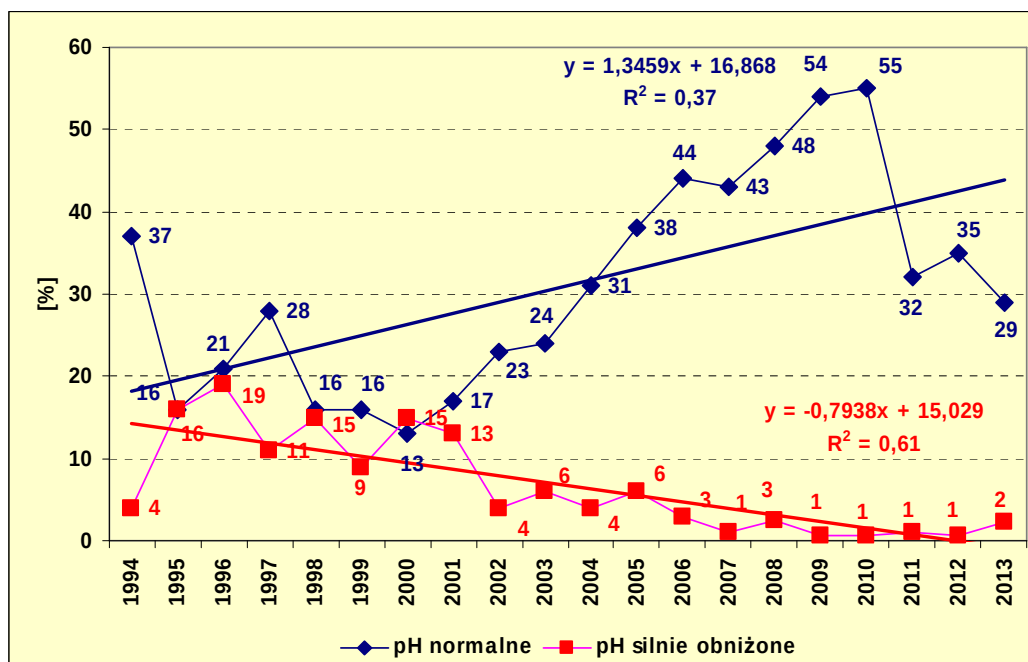
$$WpH = FP(pH < 4,1) / FP(pH 5,1-6,1)$$

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 dwudziestoletnim okresie funkcjonowania programu ZMŚP. Ogólny trend zmniejszania zakwaszenia wód opadowych i zawartości składników rozpuszczonych jest m. in. efektem polepszającej się jakości powietrza w wyniku spadku stężenia związków siarki. W wyniku poprawy jakości powietrza coraz rzadziej pojawiają się opady o silnym zakwaszeniu, tzn. o silnie obniżonym odczynie poniżej 4,1 pH (ryc. 17).

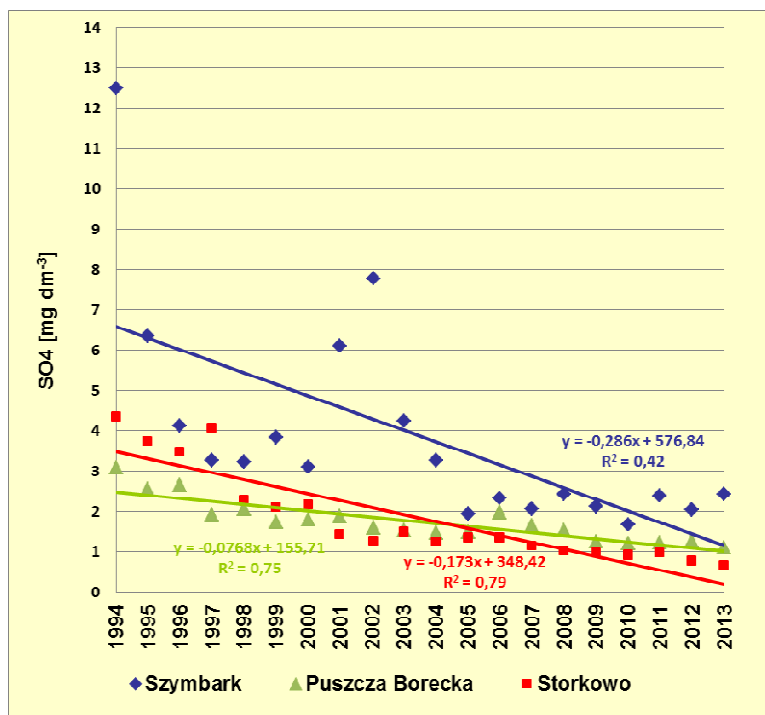


Ryc. 17. Udział opadów o odczynie normalnym i silnie obniżonym w Storkowie w okresie 1994-2013

Na przykładzie monitorowanego odczynu wód opadowych w Stacji w Storkowie (ryc. 17) zauważalna jest od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku istotna statystycznie ($p < 0,05$ test Mann-Kendalla) prawidłowość spadku udziału dni z opadami o odczynie silnie obniżonym ($pH < 4,1$) i jednocześnie wzrostu udziału dni z opadami o odczynie normalnym ($5,1 < pH < 6,1$). Do 2001 roku udział dni o opadzie

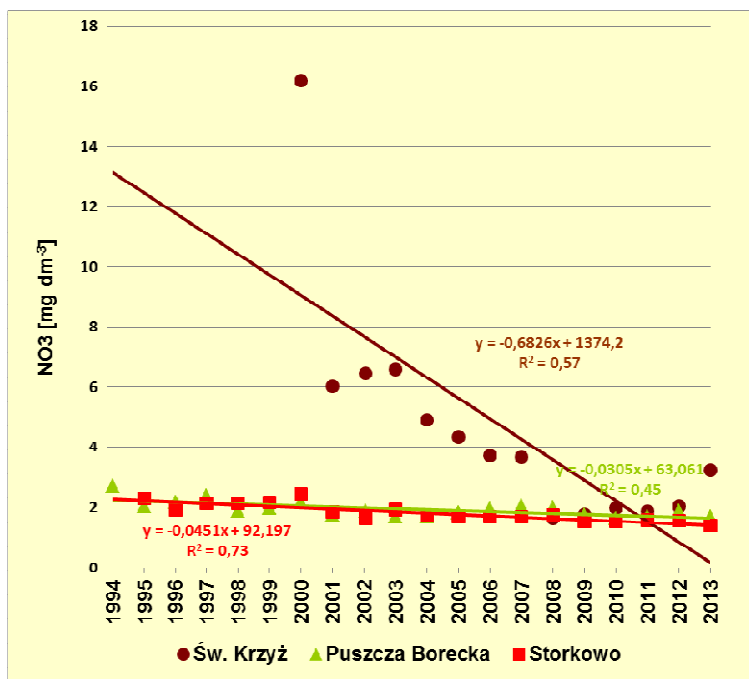
silnie obniżonym wynosił kilkanaście procent. W kolejnych latach wartość ta nie przekraczała 10% a od roku 2006 roku ich frekwencja wynosiła poniżej 3%. W 2013 roku stwierdzono relatywnie wyższy udział opadów o silnym zakwaszeniu. W 2013 roku udział opadów o odczynie silnie obniżonym wynosił 2,3% i był ponad 3 krotnie wyższy niż w roku ubiegłym. W ostatnich dwudziestu latach w wyniku mniejszej ilości przypadków występowania opadów o silnym zakwaszeniu wzrósł udział dni z opadami o odczynie normalnym – do ponad 30% od 2006 roku. W 2013 roku ten udział wynosił 29%.

Główną przyczyną spadkowej tendencji 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 SO₂ w atmosferze przekładała się na wzrost odczynu opadów atmosferycznych i równocześnie na spadek stężenia siarczanów w wodach opadowych, co stwierdzono w wynikach badań Stacji Bazowych ZMŚP. W strefie młodoglacjalnej w 2013 roku w porównaniu z połową lat dziewięćdziesiątych XX wieku stężenie siarczanów w opadach spadło w Storkowie czterokrotnie a w Puszczy Boreckiej trzykrotnie. Na Świętym Krzyżu dwukrotny spadek stężenia SO₂ notuje się od 2001 roku. Istotny statystycznie ($p < 0,05$) spadek siarczanów w opadach atmosferycznych stwierdzono w Storkowie (1,6 mg/10 lat), Puszczy Boreckiej (0,8 mg/10 lat) i Szymbarku (2,7 mg/10 lat), (ryc. 18).



Ryc. 18. Zmienność czasowa stężenia jonów siarczanowych w opadach atmosferycznych w Stacjach ZMŚP Storkowo, Puszcza Borecka i Szymbark

Drugim głównym czynnikiem wywołującym 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, co zaobserwowano w Stacjach Bazowych ZMŚP (ryc. 19). Istotny statystycznie spadek azotanów ($p < 0,05$) stwierdzono w Storkowie (0,4 mg/10 lat), Puszczy Boreckiej (0,3 mg/10 lat) i Świętym Krzyżu (5,7 mg/10 lat). Należy podkreślić, że spadek stężeń azotanów nie jest tak duży jak w przypadku siarczanów.



Ryc. 19. Zmienność czasowa stężenia jonów azotanowych w opadach atmosferycznych w Stacjach ZMŚP Storkowo, Puszcza Borecka, Święty Krzyż i Symbark

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^- [$\mu\text{eq dm}^{-3}$]

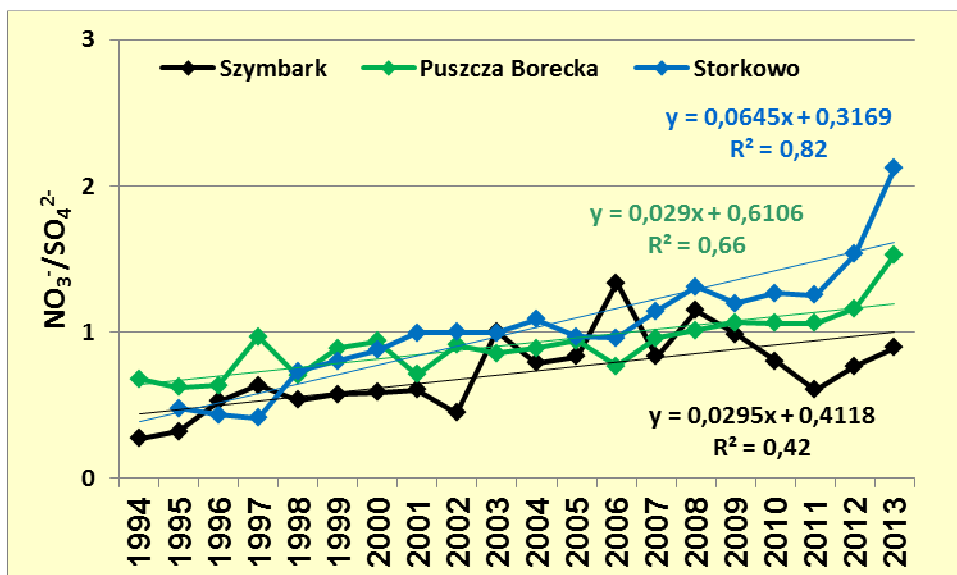
SJ SO_4^{2-} stężenie jonów SO_4^{2-} [$\mu\text{eq dm}^{-3}$]

Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych upoważniają do wykorzystywania jako wskaźnika kwasogenności stężeń jonów azotanowych i siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza atmosferycznego oraz opadów, co wywiera wpływ na jakość kolejnych etapów obiegu wody – wód podziemnych i powierzchniowych.

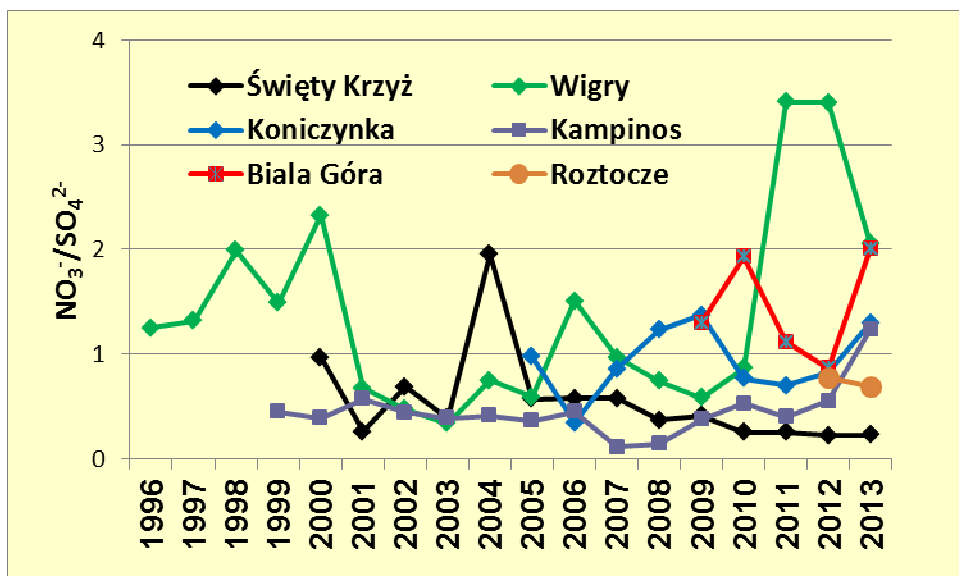
Za kwasowość opadów atmosferycznych w około 60-70% odpowiada dwutlenek siarki, zaś tlenki azotu za pozostałe 30-40% (Isidorow, Jaroszyńska 1998).

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

- istotny statystycznie wzrost udziału tlenków azotu w zakwaszaniu wód opadowych w Storkowie i Puszczy Boreckiej i dwutlenku siarki w Szymbarku (dla lat 1994-2013) (ryc. 20),
- przewagę NO_x nad SO₂ w zakwaszaniu opadów w ostatnich 6 latach w Storkowie i Puszczy Boreckiej (ryc. 20),
- większy w 2013 roku udział NO_x w zakwaszaniu opadów niż SO₂ w Stacjach: Biała Góra, Konieczynka i Kampinos (ryc. 21),
- większy udział w ostatnich latach w zakwaszaniu opadów jonów siarczanowych w Stacjach Roztocze i Święty Krzyż (ryc. 21).

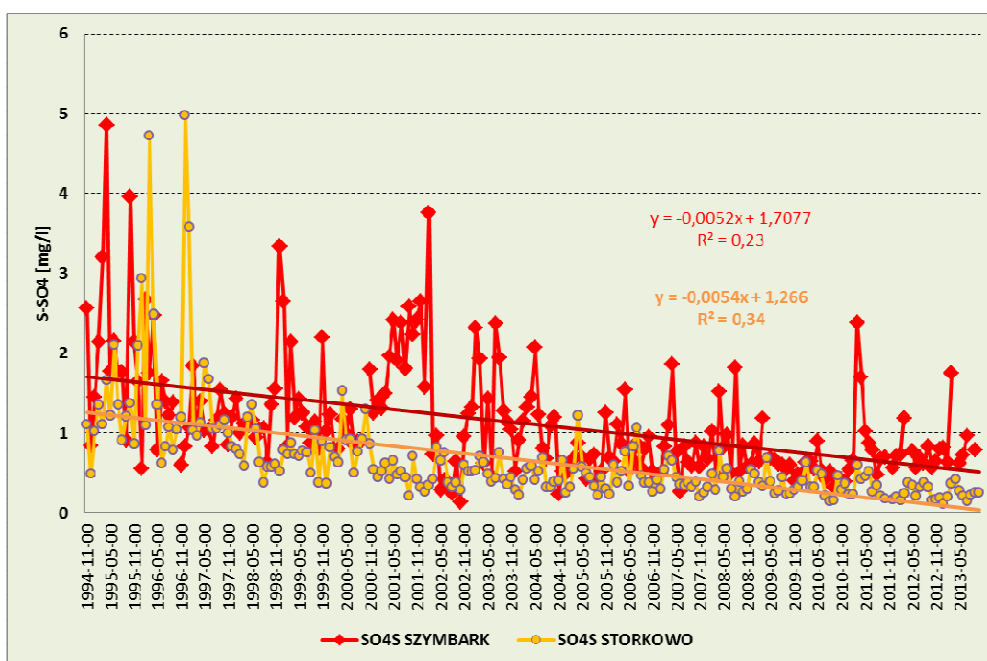


Ryc. 20. Istotnie statystycznie zmienność czasowa udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka, Storkowo i Szymbark



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 dwudziestoletniej (1994-2013) serii pomiarowej stężenia azotu azotanowego i siarki siarczanowej w opadach atmosferycznych wykazała tendencje zmniejszenia stężenia tych czynników kwasogennych. Istotny statystycznie spadek stwierdzono tylko dla stężenia jonów siarczanowych ($p < 0,05$ test Mann-Kendalla) wyłącznie dla Storkowa (0,60 mg S-SO₄/10 lat) i Szymbarku (0,67 mg S-SO₄/10 lat). Należy podkreślić, że trendy obniżania się stężenia azotanów w opadach atmosferycznych są wyraźnie niższe niż siarczanów (ryc. 22).

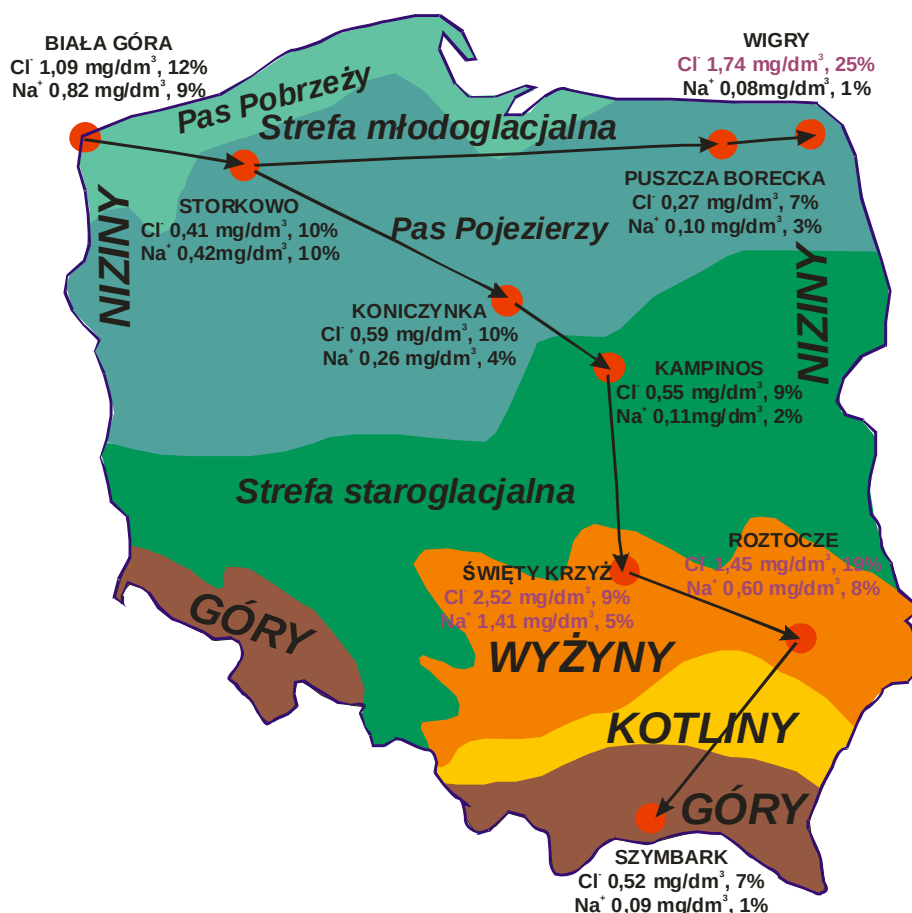


Ryc. 22. Istotny statystycznie spadek udziału S-SO₄ w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach ZMŚP Storkowo i Szymbark

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. 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 udział w składzie chemicznym wód opadowych przedstawiono dla transektu południkowego (Niziny: strefa młodoglacjalna - pobrzeży i pojezierzy, strefa staroglacjalna; Wyżyny i Góry) i 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 powinno ulegać 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 w strefach krajobrazowych Polski w 2013 roku

W 2013 roku rozkład przestrzenny stężenia i udziału jonów pochodzenia morskiego w Polsce generalnie wykazywał pozytywną, „normalną” 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 Niżu Polskiego występował spadek stężenia sodu w opadach – od 0,82 mg/dm³ w Białej Górze, 0,42 mg/dm³ w Storkowie, 0,10 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej do 0,08 mg/dm³ w Wigrach. Dla chlorków spadek stężenia jest również zauważalny w miarę oddalania się od morza – od 1,09 mg/dm³ w Białej Górze, 0,41 mg/dm³ w Storkowie do 0,27 mg/dm³ w Puszczy Boreckiej. Jedynie w Wigrach stwierdzono wysokie stężenie jonów chlorkowych 1,74 mg/dm³, co świadczyć może o dostawie tych jonów wskutek działalności człowieka (ryc. 23).

W transekcie południkowym spadek stężenia jonów chlorkowych i sodowych stwierdzono tylko w obrębie Niżu Polskiego i w strefie gór, gdzie położona jest Stacja

w Szymbarku. Spadek stężenia sodu w opadach zmniejszał się – od 0,82 mg/dm³ w Białej Górze, 0,42 mg/dm³ w Storkowie, 0,26 mg/dm³ w Koniczynie, 0,11 mg/dm³ w Kampinosie do 0,09 mg/dm³ w Szymbarku. Podobną tendencję spadku stężenia w kierunku południowym odnotowano dla chlorków, od 1,09 mg/dm³ w Białej Górze, 0,59 mg/dm³ w Koniczynie, 0,55 mg/dm³ w Kampinosie do 0,52 mg/dm³ w Szymbarku. Szczególna sytuacja „anormalnie” wysokiego stężenia jonów sodowych a zwłaszcza chlorkowych występowała w strefie Wyżyn Polskich, na Stacjach Roztocze i Święty Krzyż. 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, napływających szczególnie z kierunku zachodniego, z przemysłowego regionu Górnego Śląska. Najbardziej zanieczyszczone opady pod względem wskaźnika chlorkowo-sodowego odnotowano zwłaszcza na Świętym Krzyżu, gdzie stężenia chlorków i sodu są dwa razy wyższe niż w regionie nadmorskim. Powyższa prawidłowość wyższej koncentracji Cl i Na w strefie Wyżyn Polskich występowała również w 2012 roku. W 2013 roku wskaźnik chlorkowo-sodowy generalnie przedstawiał dobry stan opadów atmosferycznych w Polsce w porównaniu z poprzednim rokiem, czego przejawem były niższe o około 30% stężenia jonów Na i Cl oraz poprawa jakości opadów w Szymbarku (spadek stężenia chlorków).

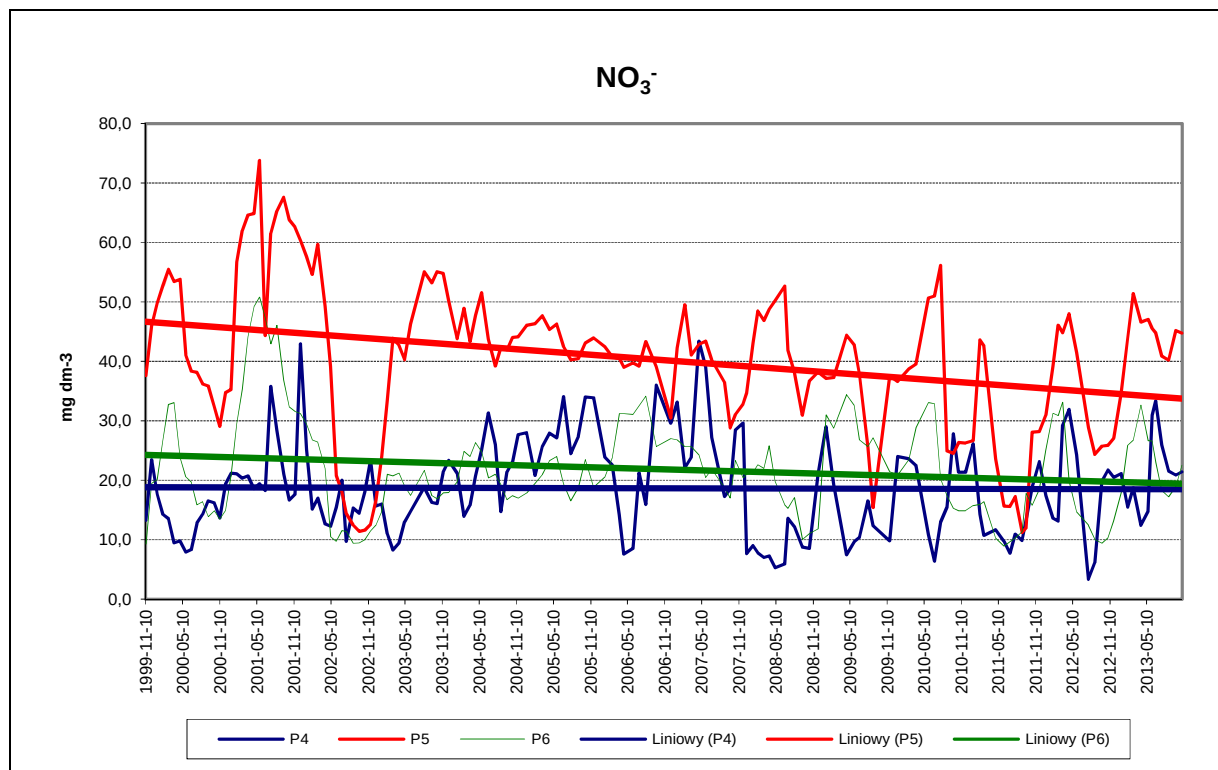
Wskaźniki jakości wód podziemnych

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 używaniem nawozów azotowych w rolnictwie.

W większości Stacji ZMŚP obserwowany jest trend spadkowy stężeń azotu azotanowego w wodach podziemnych, co należy korelować z zmniejszaniem zanieczyszczeń powietrza i opadu atmosferycznego. Wyraźną tendencję obniżenia stężeń azotanów w wodach podziemnych można zaobserwować w Świętym Krzyżu oraz w Szymbarku. Istotny statystycznie ($p < 0,05$ test Mann-Kendalla) trend liniowy spadku azotanów w wodach podziemnych stwierdzono tylko dla Storkowa (ryc. 24).

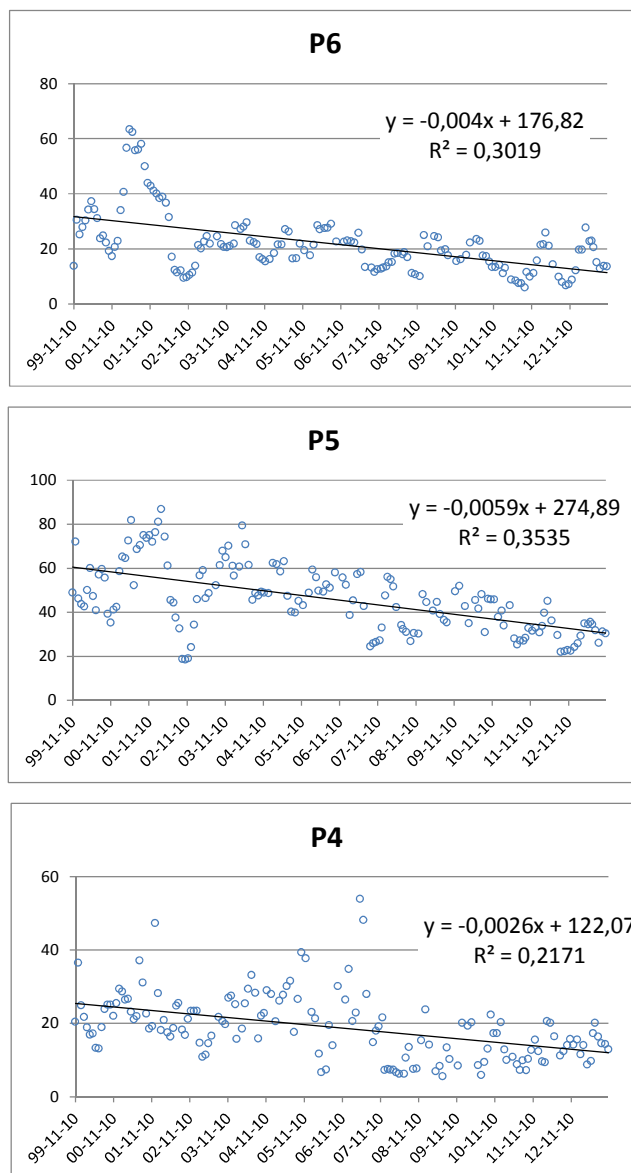
W zlewniach o użytkowaniu rolnym można jednakże zauważyć słabą tendencję wzrostu stężenia azotanów, np. w Koniczynie. W monitorowanych przez ZMŚP wodach podziemnych w 2013 roku nie stwierdzono przekroczenia wartości $50 \text{ mg NO}_3/\text{dm}^3$.



Ryc. 24. Zmiana stężenia azotanów w wodach podziemnych w zlewni górnej Parsęty (Stacja w Storkowie) w latach hydrologicznych 2000-2013

Siarczany SO_4

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 w ostatnich dwóch dekadach. Istotnie statystycznie zmniejszanie się stężeń siarczanów ($p < 0,05$ test Mann-Kendalla) stwierdzono w wodach podziemnych w zlewniach Czarnej Hańczy i górnej Parsęty (ryc. 25).



Ryc. 25. Zmiana stężenia siarczanów w wodach podziemnych w zlewni górnej Parsęty (Stacja w Storkowie) w latach hydrologicznych 2000-2013

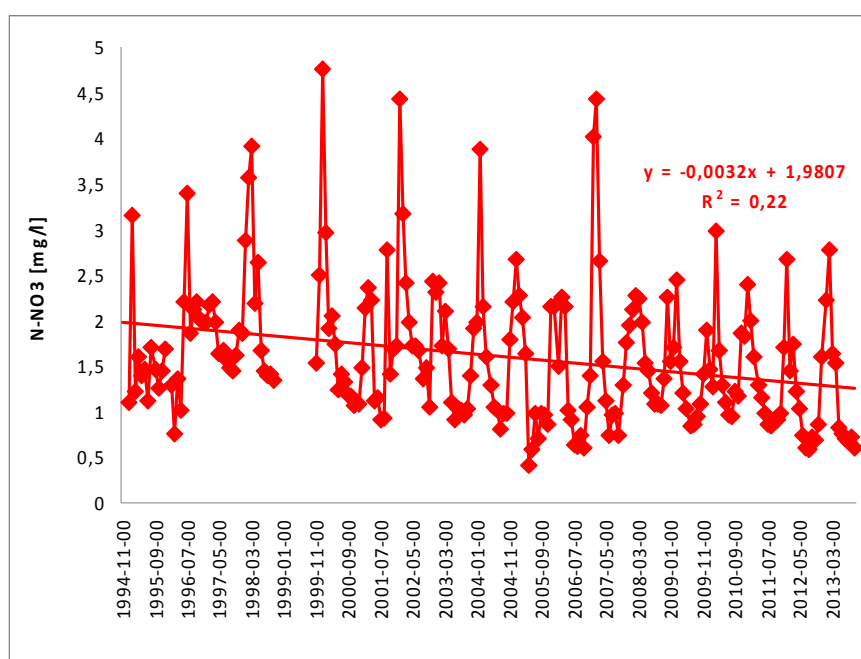
Wskaźniki jakości wód powierzchniowych

W 2013 roku we wszystkich Stacjach ZMŚP w badanych zlewniach rzecznych prowadzono monitoring fluwialnego odpływu wody i substancji rozpuszczonych. Odpływ powierzchniowy ze zlewni stanowi podstawową drogę odprowadzania substancji rozpuszczonych. W odpływie rzeczonym najważniejszym źródłem dostawy substancji rozpuszczonych jest dostawa atmosferyczna i zasilanie z 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). W 2013 roku w wyniku zaburzenia biogenicznego odpływu wody przez działalność

bobrów odpływ fluwialny w stacjach Puszcza Borecka i Kampinos był bardzo wysoki. W efekcie funkcjonowania tam bobrowych krótkookresowa dynamika odpływu rzecznoego nie była skorelowana z zasilaniem opadowym.

Azot azotanowy N-NO₃

Dwudziestoletni przebieg stężenia azotu azotanowego w wodach rzecznych wskazuje na duże zróżnicowanie przestrzenne tendencji zmian stężenia N-NO₃. Istotny statystycznie ($p < 0,05$) spadek stężenia azotu azotanowego odnotowano tylko w Parsęcie, w profilu zamykającym zlewnię górnej Parsęty w Storkowie (ryc. 26). Dziesięcioletni trend spadku stężenia azotu azotanowego w Parsęcie w Storkowie wynosi 0,4 mg/dm³, około 0,04 mg/dm³ rocznie.



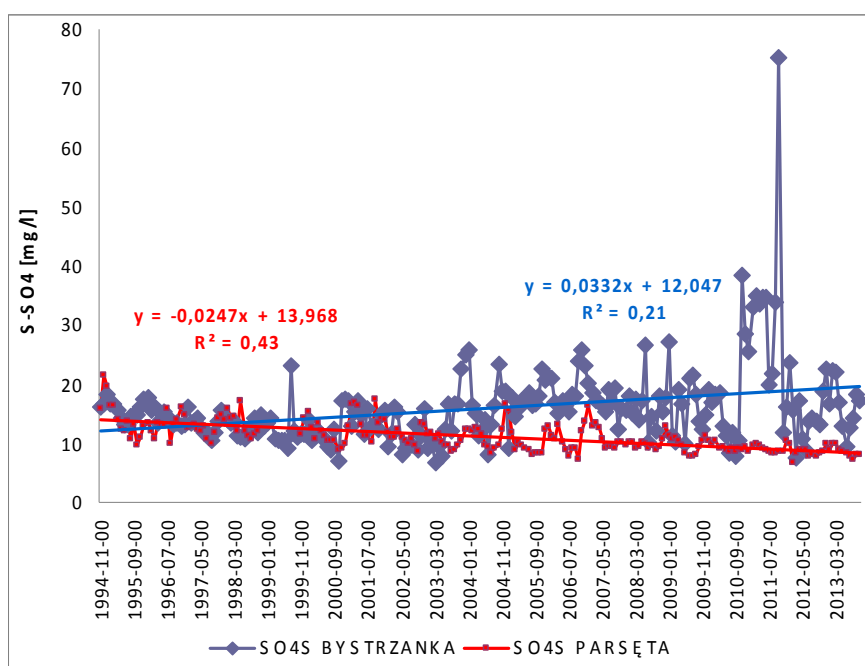
Ryc. 26. Istotne statystycznie zmiany stężenia N-NO₃ w Parsęcie (Storkowo)

W Stacji Szymbark, na rzece Bystrzance pomimo równie długiego ciągu pomiarowego trend spadku stężenia N-NO₃ jest nieistotny statystycznie ($p > 0,05$). W pozostałych Stacjach Bazowych trend zmian stężenia N-NO₃ jest także nieistotny statystycznie oraz pokazuje 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 wzrostu stężenia azotu azotanowego, a stężenia są ponad 2-3 krotnie wyższe niż w pozostałych badanych ciekach (w 2013 roku 7,8 mg/dm³). Wysokie stężenia azotu azotanowego w Strudze Toruńskiej są efektem rolniczego użytkowania zlewni i nawożenia gruntów ornych. W pozostałych zlewniach ZMŚP

stężenia azotu azotanowego w badanych ciekach cechują się bardzo małą zmiennością czasową. Reasumując, można stwierdzić, że odpływ fluwialny azotu azotanowego ze zlewni ZMŚP w większości badanych geoekosystemów nie podlega wyraźnym zmianom czasowym, na co wpływa m. in. zatrzymywanie znacznej części związków azotu przez roślinność. Największy wpływ na zmiany stężenia azotanów można wiązać ze zmianami użytkowania ziemi, np. wylesienie oraz intensyfikacja działalności rolniczej powoduje wzrost stężenia azotanów w wodach powierzchniowych. W badanych ciekach ZMŚP w 2013 roku nie stwierdzono przekroczenia wartości $50 \text{ mg NO}_3/\text{dm}^3$.

Siarka siarczanowa S-SO₄

Wieloletnia dynamika stężenia siarki siarczanowej w wodach rzecznych wskazuje na spadkowy trend stężenia S-SO₄, zwłaszcza w młodoglacjalnej strefie pojeziernej. Istotny statystycznie spadek stężenia siarki siarczanowej odnotowano w Parsęcie (Stacja Storkowo) oraz w odpływie z Jeziora Łękek (Stacja Puszcza Borecka). Dziesięcioletni trend spadku stężenia S-SO₄ w Parsęcie wynosi $4,4 \text{ mg/dm}^3$ i $2,6 \text{ mg/dm}^3$ w odpływie z Jeziora Łękek (ryc. 27). Odminną tendencję stwierdzono w Bystrzance, gdzie odnotowano istotny statystycznie wzrost stężenia S-SO₄ z trendem $4,2 \text{ mg/dm}^3/10 \text{ lat}$. W pozostałych ciekach monitorowanych przez Stacje ZMŚP trendy liniowe zmian stężenia siarki siarczanowej są nieistotne statystycznie i nie wykazują wyraźnej zmiany kierunkowej.



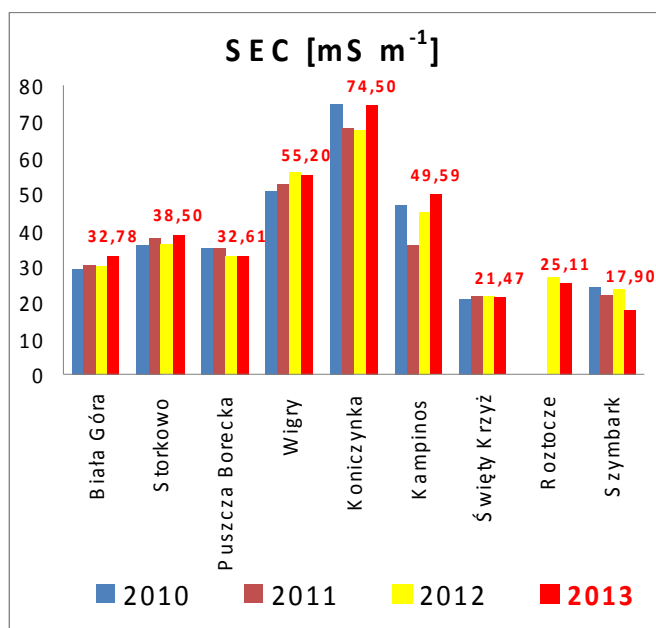
Ryc. 27. Istotne statystycznie zmiany stężenia S-SO₄ w Parsęcie (Storkowo) i Bystrzance (Szymbark)

Analiza składu chemicznego wód rzecznych monitorowanych przez Stacje Bazowe w 2013 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwala zakwalifikować je (wg klasyfikacji Szczukariewa) do wód prostych o następujących typach hydrochemicznych:

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

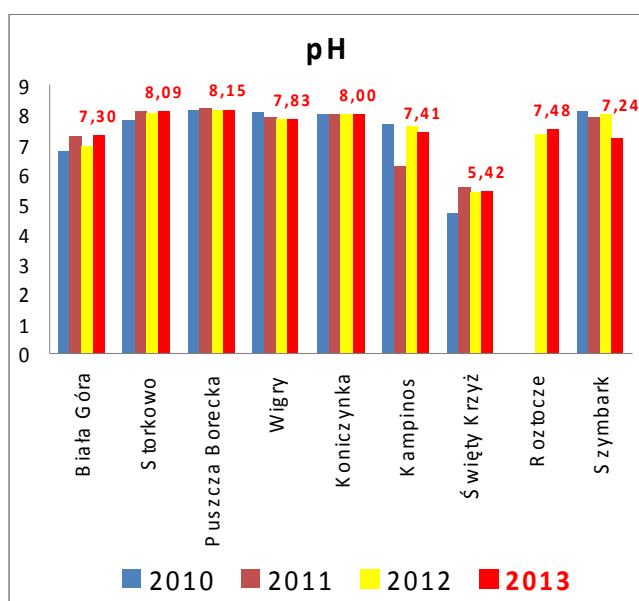
Mineralizacja wód rzecznych i transportowany ładunek substancji rozpuszczonych determinowany jest wielkością przepływu wody. Dynamika przewodności właściwej (SEC), która jest wskaźnikiem mineralizacji wód rzecznych zależy od wielkości przepływu i wykazuje zależność odwrotnie proporcjonalną. Najwyższe wartości SEC występują podczas niskich stanów wód, kiedy w wodach rzecznych jest najwyższy 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 efekcie znacznej dostawy nisko zmineralizowanej wody opadowej i roztopowej.

Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) w 2013 roku na tle lat 2010-2012 cechuje się bardzo dużym różnicowaniem czasowym i przestrzennym. Na czterech monitorowanych ciekach mineralizacja wód rzecznych była wyższa niż w 2012 roku, m. in. w Polsce NW (Białej Górze i Storkowie) i Polsce centralnej (Koniczynie i Kampinosie). W Polsce NE (Puszczy Boreckiej i Wigrach) i SE (Świętym Krzyżu, Rostoczu i Szymbarku) mineralizacja wód rzecznych w 2013 roku była niższa niż w ubiegłym roku. Można zauważyć niekorzystną sytuację dość znacznego wzrostu przewodności elektrolitycznej wód rzecznych w 2013 roku w Kampinosie i Koniczynie, co można wiązać ze zwiększoną antropopresją pomimo wyższej od normalnej dostawy nisko mineralizowanych wód opadowych (rok 2013 zarówno w Koniczynie jak i Kampinosie był wilgotny pod względem opadowym).



Ryc. 28. Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) wód rzecznych w 2013 roku w Stacjach ZMŚP na tle okresu 2010-2012

Największe zmiany odczynu w wodach rzecznych w 2013 roku w odniesieniu do okresu 2010-2012 stwierdzono w Bystrzance (Stacja Szymbark), (ryc. 29). W 2013 r. w Bystrzance średni odczyn 7,24 był znacznie niższy niż w latach ubiegłych, co można wiązać z antropopresją i dostawą jonów kwasogennych, zwłaszcza siarki siarczanowej z opadami atmosferycznymi (ryc. 27). Można zauważyć bardzo małą zmienność czasową odczynu wód rzecznych w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego, zwłaszcza w ciekach monitorowanych przez Stacje w Puszczy Boreckiej, Koniczynie i Storkowie.



Ryc. 29. Odczyn wód rzecznych w 2013 roku w Stacjach ZMŚP na tle okresu 2010-2012

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 wyliczenie bilansu głównych jonów zakwaszających środowisko przyrodnicze badanych zlewni ZMŚP (tab. 14).

Tab. 14. Bilans czynników kwasogennych $S-SO_4$ i $N-NO_3$ w zlewniach badawczych ZMŚP w 2013 roku

Parametr	BIAŁA GÓRA	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYŻ	ROZTOCZE	SZYMBARK
Opad atmosferyczny [mm]	519,4	582,2	785,4	632,4	618,6	711,8	639,5	845,9	784,2
Opad $S-SO_4$ [mg/dm ³]	0,56	0,22	0,37	0,39	0,55	0,60	4,62	0,75	0,82
Opad $N-NO_3$ [mg/dm ³]	0,74	0,31	0,38	0,54	0,48	0,54	0,73	0,36	0,49
Odpływ rzeczny [mm]	222,1	184,5	3336,5	201,0	88,8	516,3	136,7	165,5	322,2
Odpływ $S-SO_4$ [mg/dm ³]	6,18	8,92	2,72	8,21	33,90	14,46	37,82	6,05	14,08
Odpływ $N-NO_3$ [mg/dm ³]	0,44	1,49	0,16	1,35	7,80	0,10	2,14	0,29	1,46
Bilans $S-SO_4$ [mg/m²]	-1082	-1518	-8785	-1404	-2670	-7039	-2216	-367	-3894
Bilans $N-NO_3$ [mg/m²]	287	-94	-235	70	-396	333	174	257	-86

Analiza bilansu azotu azotanowego i siarki siarczanowej w zlewniach badawczych ZMŚP w 2013 roku wykazuje podobne prawidłowości jak w 2012 roku (Tylkowski 2013). Można zauważyć znaczący wpływ typu użytkowania terenu i formy antropopresji na obieg materii (w tym czynników kwasogennych) w zlewniach rzecznych.

W zlewniach użytkowanych rolniczo (Storkowo, Szymbark a zwłaszcza Koniczyńska) stwierdzono znaczący udział odpływu $N-NO_3$ ze zlewni (bilans ujemny), który jest efektem nawożenia pól uprawnych. W Koniczyńce w 2013 roku stwierdzono ujemny bilans $N-NO_3$ wynoszący -396 mg/m^2 a w Storkowie i Szymbarku około -90 mg/m^2 . Natomiast w zlewniach o dużym udziale lasów bilans azotu azotanowego jest wysoki (Biała Góra, Kampinos, Roztocze), wynoszący około $+260-330 \text{ mg/m}^2$. W zlewniach zalesionych azot dostarczony z opadami atmosferycznymi wykorzystywany jest głównie do rozwoju roślinności a mały udział pól uprawnych powoduje ograniczenie nawożenia oraz ograniczenie występowania spływów powierzchniowych azotanów do koryt rzecznych i w konsekwencji dalszego ich odpływu poza zlewnię.

Natomiast bilans siarki siarczanowej we wszystkich zlewniach był ujemny. W porównaniu z 2012 rokiem stwierdzono pozytywną prawidłowość przejawiającą się zwiększoną denudacją jonów siarczanowych ze zlewni na Świętym Krzyżu. Ujemny bilans jonów siarczanowych w 2013 roku na Świętym Krzyżu był skutkiem większego odpływu ładunku siarczanów w cieku odwadniającym zlewnię niż jego dostawy wraz

z opadami atmosferycznymi, których zakwaszenie jonami siarczanowymi było o 30% niższe niż w roku ubiegłym.

Szczególną sytuacją w 2013 roku stanowił znaczny deficyt jonów S-SO₄ i N-NO₃ w Puszczy Boreckiej, który spowodowany był zaburzeniami odpływu wód rzecznych przez biogeniczną działalność bobrów w korycie rzeczonym.

Bilans denudacyjny

Obieg materii rozpuszczonej w zlewni jest odzwierciedleniem naturalnych procesów wietrzenia chemicznego (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 (Tylkowski 2005). Ilość materii odpływającej w korycie rzeczonym jest przybliżonym odbiciem aktualnych procesów zachodzących na obszarze zlewni (Froehlich 1982, Kostrzewski, Mazurek, Zwoliński 1994, Szpikowska, Tylkowski 2006).

Tab. 15. Bilans denudacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2013 roku

Parametr	BIAŁA GÓRA	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYZ	ROZTOCZE	SZYMBARK
Opad atmosferyczny [mm]	679,7	698,3	794,4	575,0	484,2	545,6	657,4	645,1	632,8
Odpływ rzeczny [mm]	133,3	278,7	180,0	168,6	176,2	434,0	82,5	121,8	85,8
Jony denudacji chemicznej [mg/m ²]									
SO ₄	-3208	-4550	-26395	-4209	-8177	-20384	-6572	-1099	-12433
Cl	-3027	-1112	-15036	-2510	-4626	-7338	-116	594	-1944
Na	-1540	-789	-9330	-3302	-1313	-25824	-167	99	-3023
Mg	-1174	-993	-29371	-2612	-1578	-3935	-118	-172	-1540
Ca	-11071	-12866	-190738	-15251	-11896	-38739	-165	-6811	-11550
Suma	-20021	-20309	-270870	-27884	-27590	-96220	-7138	-7389	-30490
Jony biogeniczne [mg/m ²]									
NO ₃	1278	-414	-1034	307	-1544	1474	595	1113	-408
NH ₄	217	243	-995	185	400	147	383	605	507
K	-288	-359	-7476	-177	-767	-2625	125	83	-1364
Suma	1207	-530	-9504	315	-1912	-1004	1104	1801	-1264

W opracowaniu przedstawiono bilans jonowy zlewni rzecznych ZMŚP w 2013 roku, który stanowi różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych (tab. 15). 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 zlewni ZMŚP (tab. 15) wykazała dodatni budżet dla jonów pochodzenia biogenicznego i antropogenicznego – azotu i potasu. Związki azotu i potasu stanowią główny składnik nawozów wykorzystywanych w rolnictwie. Pozostałe składniki chemiczne (jony denudacyjne) występujące w wodach krążących w zlewni cechują się przeważnie ujemnym bilansem. Ujemny bilans jonów denudacyjnych jest efektem przewagi wietrzenia chemicznego i dalszego ich odprowadzania fluwialnego nad ich dostawą wraz z opadami atmosferycznymi.

W zlewniach o największym wpływie antropopresji zauważyć można ekstremalnie ujemny bilansu jonowy. Zwiększony odpływ materii rozpuszczonej w tych zlewniach związany jest ze znacznym udziałem powierzchni o rolniczym użytkowaniu, który wpływa na szybsze odprowadzanie substancji rozpuszczonych ze zlewni, np. Koniczynka, Storkowo, 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 ujemny bilans stwierdzono w zlewniach o znacznym udziale gruntów rolnych, np. Koniczynka czy Storkowo. Na ujemny bilans jonów azotanowych i potasowych w tych zlewniach wpływa przede wszystkim nadmierne wprowadzanie związków azotu i potasu wraz z nawozami rolniczymi (zwłaszcza Koniczynka) oraz w mniejszym stopniu dopływ ścieków gospodarczych (zwłaszcza Storkowo). 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 dalej do wód gruntowych i odprowadzane wodami rzecznyymi poza zlewnię.

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, która w przypadku oligotroficznych jezior polodowcowych oznacza proces stopniowego, wieloletniego użyźniania i wypełniania zbiornika jeziornego materiałem pochodzenia autochtonicznego i allochtonicznego. Końcowym etapem takiej naturalnej eutrofizacji jest przekształcanie jezior w bagna i torfowiska oraz późniejsza ich przemiana w ekosystemy lądowe. W ostatnim czasie można obserwować przyspieszoną eutrofizację, która jest efektem antropogenicznych zmian użytkowania terenu w zlewniach i nadmiernej dostawy jonów biogennych. Przyspieszona eutrofizacja oznacza znacznie szybszą niż w cyklu „naturalnym” przemianę trofii zbiorników wodnych w wyniku szybszego krążenia wody i zwiększonej dostawy do zbiornika wodnego ładunku substancji odżywczych, głównie w postaci fosforanów, azotanów i potasu. Antropogeniczna przyspieszona eutrofizacja zachodzi przede wszystkim w wyniku przekształcenia form użytkowania zlewni, np. wylesienie celem zwiększenia areалу gruntów rolnych, które następnie podlegają intensywnemu nawożeniu. Aktualne przyspieszenie eutrofizacji jest także wynikiem zwiększonej dostawy zanieczyszczeń, głównie biogenów pochodzących ze ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych. Pierwiastkami sprzyjającymi rozwojowi glonów i makrofitytów wodnych są węgiel, azot i fosfor. Nadmierne stężenie związków azotu a zwłaszcza fosforu powoduje eutrofizację i nadmierny wzrost niepożądanych organizmów żywych, zarówno w wodach jeziornych i rzecznych. „W środowisku wodnym najczęściej spotykana jest sytuacja, gdy występuje nadmiar węgla i azotu, tzn. ograniczanie wielkości produkcji pierwotnej powodowane jest niedoborem fosforu, z czego wynika zagrożenie szybkiego przyrostu biomasy roślin, ze wszystkimi negatywnymi konsekwencjami, w wyniku zwiększonego zasilania wód tym pierwiastkiem” (Rynkiewicz 2007). W związku z powyższym największe zagrożenie eutrofizacją występuje w przypadku wzrostu stężenia fosforu.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 2002 roku określa wartości graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji dla różnych typów wód. W 2013 roku tylko w rolniczo użytkowanej zlewni Strugi Toruńskiej zlewni stwierdzono nieznaczne przekroczenie progowej wartości stężenia fosforu ogólnego $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$. W przypadku azotu azotanowego stężenia dopuszczalne ($2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) są

przekroczone także w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka ($7,80 \text{ mg dm}^{-3}$). Dla stężenia jonów azotanowych wartość graniczna wynosząca 10 mg dm^{-3} również została przekroczona tylko w Koniczynce ($32,10 \text{ mg dm}^{-3}$), (tab. 16).

Tab. 16. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach ZMŚP w 2013 roku

Stacja - ciek	Pog [mg dm^{-3}]	N-NO ₃ [mg dm^{-3}]	NO ₃ [mg dm^{-3}]
Biała Góra – Lewińska Struga	0,12	0,44	1,94
Storkowo - Parsęta	0,07	1,49	6,60
Puszcza Borecka – odpływ z Jeziora Łękuk	0,06	0,16	0,71
Wigry – Czarna Hańcza Ujście	0,06	1,35	5,96
Koniczynka – Struga Toruńska Koniczynka	0,26	7,80	32,10
Kampinos – Kanał Olszowiecki	0,17	0,10	0,44
Święty Krzyż – C6	0,02	2,14	9,41
Roztocze – Świerszcz Malowany Most	0,14	0,29	1,30
Szymbark - Bystrzanka	0,09	1,46	6,50

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 roku za wartość progową eutrofizacji wód jeziornych uznano stężenia fosforu ogólnego powyżej $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$. Powyższa wartość graniczna nie została przekroczona na żadnym z monitorowanych jezior: Gardno, Czarne i Łękuk, (tab. 17).

Tab. 17. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach ZMŚP w 2013 roku

Stacja - jezioro	Pog. [mg dm^{-3}]
Biała Góra – Jezioro Gardno	0,01
Storkowo – Jezioro Czarne	0,03
Puszcza Borecka – Jezioro Łękuk	0,04

Z jezior badanych w ramach ZMŚP pod względem stężenia biogenów: azotu i fosforu tylko Jezioro Czarne można zaliczyć do typu oligotroficznego. 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 odmienny typ trofii i sposób zasilania występował w jeziorach Gardno i Łękuk, w których dominuje zasilanie podziemne i powierzchniowe. Należy podkreślić, że pod względem stężenia fosforu ogólnego stan jeziorach Gardno i Łękuk uległ poprawie w porównaniu z rokiem ubiegłym. Chwilowe przekroczenie stężenia Pog. wynika przede wszystkim z lokalnych uwarunkowań przyrodniczych zlewni Jezior Gardno i Łękuk (las w zlewni Jeziora Gardno zajmują 97% powierzchni a w zlewni Jeziora Łękuk 82%, brak możliwości biogenów ze spływem powierzchniowym do misy jeziornej oraz brak zanieczyszczeń komunalnych i przemysłowych) a nie są skutkiem dostawy zanieczyszczeń antropogenicznych.

Wybrane parametry stanu ekologicznego wód powierzchniowych i stanu chemicznego wód podziemnych

Realizowany w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego monitoring fizykochemiczny wód powierzchniowych i podziemnych można odnieść do wartości granicznych wybranych parametrów określających stan ekologiczny wód powierzchniowych i stan chemiczny wód podziemnych, które określono w Ramowej Dyrektywie Wodnej. Monitoring fizykochemiczny wód krążących w zlewniach ZMŚP można odnieść do wybranych wskaźników fizykochemicznych (nie wszystkich), które wspomagają wstępną ocenę stanu ekologicznego jednolitych części wód powierzchniowych i stanu chemicznego jednolitych części wód podziemnych - zgodnie z Rozporządzeniami Ministra Środowiska (2008 a, b): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji Stanu Jednolitych Części Wód Powierzchniowych. Dziennik Ustaw Nr 162, poz . 1008 oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie klasyfikacji zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. Dziennik Ustaw Nr 143, poz . 896.

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)

W ramach programów ZMŚP H1 wody powierzchniowe rzeki i H2 wody powierzchniowe jeziora można na podstawie wybranych parametrów fizykochemicznych dokonać wstępnej charakterystyki jakości wód powierzchniowych, która służy ocenie stanu ekologicznego wód. Wartości graniczne fizykochemicznych

wskaźników jakości wód odnoszą się do Rozporządzenie Ministra Środowiska (2008a).

W zlewniach ZMŚP monitoring fizykochemiczny w 2013 roku dotyczył trzynastu parametrów obejmujących:

- wskaźniki charakteryzujące stan fizyczny, w tym warunki termiczne (temperatura wody),
- wskaźniki charakteryzujące warunki tlenowe i zanieczyszczenia organiczne (tlen rozpuszczony, pięciodobowe zapotrzebowanie tlenu),
- 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 można stwierdzić, że w 2013 roku jakość wód rzecznych w porównaniu z 2012 rokiem uległa nieznacznej poprawie. W zakresie badanych w 2013 roku trzynastu wskaźników fizykochemicznych zdecydowana większość badanych cieków posiadała bardzo dobrą i dobrą klasę jakości wody: Parsęta, Wypływ z Jez. Łękuk, Czarna Hańcza, Kanał Olszowiecki, Świerszcz, Bystrzanka i Struga Toruńska. Klasę fizykochemiczną poniżej stanu dobrego stwierdzono tylko dla dwóch cieków. Należy podkreślić, że obniżenie klasy fizykochemicznej dla tych cieków nie było wynikiem antropopresji.

Na obniżenie jakości wody w Strudze Toruńskiej do II dobrej klasy fizykochemicznej w profilu Koniczynka zdecydowały podwyższone wartości stężenia wapnia (113 mg/dm^3), który jest skutkiem dominacji rolniczego użytkowania zlewni i wapnowania gruntów ornych. Po względem fizykochemicznym do klasy poniżej dobrej można zaliczono Lewińską Strugę, która posiadała gorsze warunki natlenienia wody ($\text{O}_2 \text{ } 3,97 \text{ mg/dm}^3$). Słabsze warunki tlenowe w tym cieku są efektem dużej bezwładności odpływu wody, 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 względnie gorsza cząstkowa ocena stanu ekologicznego (poniżej dobrego) Lewińskiej Strugi wynika przede wszystkim z

naturalnie ograniczonej dynamiki odpływu wody a nie jest efektem szkodliwej działalności człowieka. Ocenę fizykochemiczną poniżej stanu dobrego stwierdzono także w cieku C6 na Świętym Krzyżu, gdzie na słabszą jego klasyfikację wpłynęła bardzo mała wartość odczynu wody (pH 5,42) i silne zakwaszenie wód w cieku. Silne zakwaszenie wody w cieku C6 w jest wynikiem zarówno specyficznej budowy geologicznej Gór Świętokrzyskich jak i efektem dostawy kwaśnych opadów atmosferycznych pochodzących z dalekiej emisji. Pozytywnym sygnałem dobrej jakości wód rzecznych w zlewniach ZMŚP były niskie stężenia biogenów (azotanów i fosforanów), które zawierały się w I klasie jakości.

Tab. 18. Jakość wód płynących w 2013 roku wg wybranych parametrów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2008a, GIOŚ 2011) - w odniesieniu do programu ZMŚP H1 wody powierzchniowe rzeki

Stacja Bazowa ZMŚP	Biała Góra	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Ciek	Lewińska Struga	Parsęta	Wypływ z Jez. Łękuk	Czarna Hańcza	Struga Toruńska - Koniczynka	Kanał Olszowiecki	Ciek C6	Świerszcz (Malowany Most)	Bystrzanka
Parametr fizykochemiczny/klasa fizykochemiczna - stan									
Temperatura wody [°C]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ /l]	poniżej dobrego	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
BZT ₅ [mg O ₂ /l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Przewodność [mS/cm]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Substancje rozpuszczone [mg/l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Siarczany [mg SO ₄ /l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Chlorki [mg Cl/l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Wapń [mg Ca/l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Magnez [mg Mg/l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Odczyn [pH]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	poniżej dobrego	bardzo dobry	bardzo dobry
Azot amonowy [mg N-NH ₄ /l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Azot azotanowy [mg N-NO ₃ /l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Azot ogólny [mg N/l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Fosfor ogólny [mg P/l]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
CZĄSTKOWA OCENA STANU EKOLOGICZNEGO	poniżej dobrego	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	dobry	bardzo dobry	poniżej dobrego	bardzo dobry	bardzo dobry

Na cząstkową ocenę stanu ekologicznego wód jeziornych zlewni ZMŚP wpływają monitorowane, wybrane wskaźniki fizykochemicznych, do których zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2008a) można zaliczyć:

- wskaźniki charakteryzujące warunki tlenowe i zanieczyszczenia organiczne (tlen rozpuszczony),
- wskaźniki charakteryzujące zasolenie (przewodność),
- wskaźniki charakteryzujące warunki biogenne (azot ogólny, fosfor ogólny).

Analiza powyższych wskaźników fizykochemicznych w 2013 roku pozwala na zakwalifikowanie Jeziora Gardno (Stacja Biała Góra) i Jeziora Czarne (Stacja Storkowo) w cząstkowej ocenie stanu ekologicznego do stanu bardzo dobrego. Natomiast w cząstkowej ocenie stanu ekologicznego Jezioro Łękek (Stacja Puszcza Borecka) zakwalifikowano do klasy o stanie poniżej dobrego. O obniżeniu klasy wód Jeziora Łękek w porównaniu z ubiegłym rokiem zdecydowały podwyższone wartości azotu ogólnego i fosforu ogólnego (tab. 19). Prawdopodobną przyczyną wzrostu stężenia biogenów w Jeziorze Łękek może być działalność biogeniczna bobrów w bezpośredniej zlewni jeziora i zwiększony spływ ładunku nutrientów do zbiornika jeziornego.

Tab. 19. Jakość stojących wód powierzchniowych w 2013 roku wg wybranych parametrów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2008a) 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]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Przewodność [mS/cm]	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
Azot ogólny [mg N/l] – Współczynnik Schindlera	bardzo dobry	bardzo dobry	poniżej dobrego
Fosfor ogólny [mg P/l] -Współczynnik Schindlera	bardzo dobry	bardzo dobry	poniżej dobrego
CZĄSTKOWA OCENA STANU EKOLOGICZNEGO	bardzo dobry	bardzo dobry	poniżej dobrego

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), Konieczynka (40), Kampinos (65), Święty Krzyż (103), Roztocze (127), Szymbark (157).

W opracowaniu dokonano cząstkowej oceny stanu chemicznego wód podziemnych w zlewniach ZMŚP, która obejmowała czternaście elementów fizykochemicznych (IOŚ 2013). Spośród wymienionych w Rozporządzeniu Ministra

Środowiska (2008b) parametrów fizykochemicznych do częściowej oceny stanu chemicznego wód podziemnych wzięto pod uwagę:

- 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 2013 roku jest podobna do dokonanej klasyfikacji w 2012 roku.

Dokonana dla 2013 roku częściowa ocena stanu chemicznego wód podziemnych pozwala zakwalifikować większość wód podziemnych monitorowanych w ZMŚP do II i III klasy, czyli do wód o dobrej i zadowalającej jakości. :

- Biała Góra (2 piezometry: dobry stan, II klasa – wody dobrej jakości),
- Storkowo (3 piezometry: dobry stan III klasa - wody o zadowalającej jakości),
- Puszcza Borecka (1 studnia: dobry stan, II klasa – wody dobrej jakości),
- Wigry (1 piezometr: dobry stan, III klasa - wody o zadowalającej jakości),
- Koniczynka (1 piezometr: dobry stan, III klasa - wody o zadowalającej jakości),
- Kampinos (4 piezometry: dobry stan, III klasa - wody o zadowalającej jakości),
- Święty Krzyż (2 źródła: dobry stan, II klasa – wody dobrej jakości),
- Roztocze (3 piezometry: 1 piezometr dobry stan, II klasa - wody dobrej jakości, 2 piezometry dobry stan, IV klasa wody o niezadowalającej jakości),
- Szymbark (1 studnia dobry stan, II klasa – wody dobrej jakości).

Dobry stan wód podziemnych stwierdzono głównie głębszych warstwach wodonośnych, o niskiej antropopresji i dominacji leśnego użytkowania terenu (np. Biała Góra, Puszcza Borecka). Do dobrej częściowej oceny stanu chemicznego zaliczono także wody podziemne monitorowane w 2 piezometrach przez Stację Roztocze pomimo zakwalifikowania ich do IV klasy fizykochemicznej, czyli do wód o niezadowalającej jakości. Badane wskaźniki fizyczno-chemiczne w tych dwóch czwartorzędowych, płytkich warstwach wodonośnych mieściły się w IV klasie jakości wód podziemnych, ale ich słabsza klasa monitoringowa wynikała z naturalnych procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym i wody te nie były poddane presji antropogenicznej. Słabsza fizykochemiczna klasa monitoringowa tych wód była

wynikiem niskiego odczynu wody, niskiej zawartości tlenu oraz wysokiej temperatury w okresie letnim.

Słaby stan chemiczny stwierdzono jedynie w zlewni Potoku Olszowieckiego (Stacja Kampinos) dla wód podziemnych z płytkich poziomów wodonośnych, które posiadają swobodny kontakt z infiltrującymi zanieczyszczeniami powierzchniowymi. Do słabej cząstkowej oceny stanu chemicznego (V klasa fizykochemiczna – wody o złej jakości) zaliczono wody podziemne monitorowane w 12 piezometrach. Przekroczenie wartości granicznych dla wód o dobrym stanie chemicznym (poniżej III klasy fizykochemicznej) dotyczyło najczęściej niekorzystnych warunków tlenowych i podwyższonego stężenia wodorowęglanów. Wysokie opady atmosferyczne w 2013 roku spowodowały znaczne podniesienie wód podziemnych i ich wystąpienie na powierzchnię terenu. W efekcie tej wyjątkowej, „naturalnej” sytuacji hydrogeologicznej wyniki oznaczeń nie są w pełni miarodajne dla wód podziemnych. Na powierzchni terenu dochodziło do rozkładania się substancji organicznej i przedostawania zanieczyszczeń włąb warstw wodonośnych. Cząstkową ocenę stanu chemicznego wód podziemnych w Kampinosie określono jako słabą i była ona wyraźnie gorsza od stanu z lat poprzednich. Lokalizacja powyższych punktów pomiarowych jakości wód podziemnych na obszarze Kampinoskiego Parku Narodowego pozwala przypuszczać, że ich słaba ocena stanu chemicznego 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 i obecność substancji toksycznych. W grupie programów biotycznych w ZMŚP w 2013 roku realizowano monitoring epifitów nadrzewnych i fauny bezkręgowej oraz badania uszkodzeń drzew i zdrowotności drzewostanów. Celem programów biotycznych było kreślenie reakcji funkcjonowania organizmów żywych w odniesieniu do dynamiki zmian abiotycznych komponentów środowiska przyrodniczego.

W 2013 roku hydrologicznym bioindykacja realizowana była na wszystkich Stacjach Bazowych ZMŚP (za wyjątkiem epifitów nadrzewnych w Stacji w Szymbarku). W niniejszym opracowaniu dokonano próby oceny wpływu warunków

opadowych na wieloletnią zmienność epifitów nadrzewnych na przykładzie Stacji ZMŚP w Storkowie.

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 oraz pomiary zmian powierzchni plech. W badaniach bioindykacyjnych uwzględnionych jest wiele gatunków porostów, które cechuje różna forma morfologiczna plech. Kształt plechy porostu jest jednym z podstawowych czynników, który warunkuje jej odporność na zmiany siedliskowe. 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 zlewni górnej Parsęty w trakcie 13 lat prowadzenia badań monitoringu porostów przez Stację w Storkowie nastąpiło ograniczenie stanowisk badawczych zarówno z przyczyn antropogenicznych (wycięte drzewa) jak i naturalnych (powierzchnie zarosłe mszakami, pękanie i łuszczenie kory drzew kory drzew). Łuszczenie i odpadanie kory drzew a wraz z nią plech porostów było przyczyną znacznego zmniejszenia na powierzchniach badawczych powierzchni plech pustułki pęcherzykowatej i odnożycy mączystej oraz ustąpienia krzaczkowatego mąklika odrębiastego. Nie są znane przyczyny ustąpienia wrażliwego płucnika modrego (*Platismatia glauca*, ustąpił w 2007 roku) i zła kondycja rzadkiej tarczownicy pogiętej (*Parmelia submontana*). Niski poziom zanieczyszczenia powietrza a co za tym idzie opadów atmosferycznych oraz niska zawartość siarki w plechach pustułki pęcherzykowatej nie wskazuje na udział tych czynników w redukcji bioty porostów (Szpikowski 2012).

W 2013 roku w zlewni górnej Parsęty zaobserwowano znaczne zmniejszenie powierzchni plech trzech gatunków porostów, podobnie jak w roku poprzednim były to: *Evernia prunastri* (o 36,0%), *Parmelia submontana* (o 20,4%) oraz *Hypogymnia physodes* (o 11,6%). Nieznacznie spadła powierzchnia plech trzech gatunków porostów (od 1,6 do 5,5%): *Melanelia fuliginosa*, *Phlyctis argena* i *Parmelia sulcata*. O niespełna 5% wzrosła powierzchnia plechy gatunku krzaczkowatego *Ramalina farinacea*, występującego tylko na jednej powierzchni. Powierzchnia skorupiastego

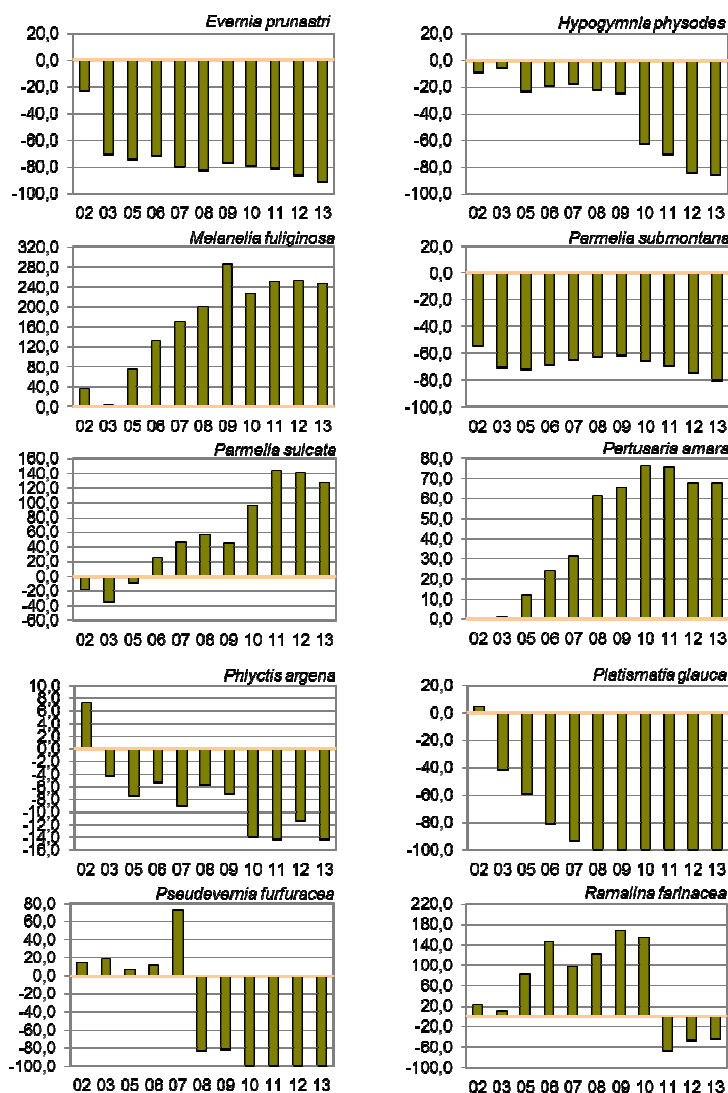
gatunku *Pertusaria amara* pozostała praktycznie bez zmian i choć gatunek ten charakteryzował się dużymi przyrostami w latach 2005–2011, to w 2013 roku a zwłaszcza w 2012 roku jego powierzchnia wyraźnie się zmniejszyła spadła (Domańska 2014).

W związku z utrudnioną interpretacją zmienności czasowej powierzchni porostów w opracowaniu podjęto próbę odniesienia dynamiki zmian powierzchni plech porostów w odniesieniu do warunków opadowych w poszczególnych latach badawczych 2002-2013, (ryc. 30).

Analizując roczną dynamikę powierzchni plech porostów na badanych powierzchniach nie stwierdzono wyraźnej zależności między 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*).

Porosty monitorowane Stacjach Bazowych ZMŚP są wrażliwe na różnorodne bodźce środowiskowe. Do głównych naturalnych przyczyn zmian powierzchni plech porostów i ich zdrowotności można zaliczyć łuszczenie kory drzewa, wkraczanie mszaków i warunki pogodowe, zwłaszcza wilgotnościowe. W przypadku lat bardzo suchych może występować jednoznaczna zależność zaniku plech porostów i pogorszenie ich zdrowotności (ryc. 30). W 2013 *Melanelia fuliginosa*, porost listkowaty wrażliwy na zmiany środowiskowe, odnotował znaczne pogorszenie zdrowotności, gdzie na trzech z pięciu stanowisk plechy zaliczono do silnie uszkodzonych (51-75% powierzchni plech). Dla pozostałych gatunków porostów nie zaobserwowano w 2013 roku tak znacznych uszkodzeń (*Pertusaria amara*, *Phlyctis argena*, *Ramalina farinacea*), choć uszkodzenia obejmowały do 25% powierzchni plech (*Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*). Do czynników antropogenicznych zaburzających funkcjonowanie porostów można zaliczyć oddziaływanie związków kwasogennych dostarczanych z opadami atmosferycznymi oraz komunikacyjne zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego. Od początku badań monitoringu porostów powierzchnia plech gatunków krzaczkowatych spadła we wszystkich Stacjach Bazowych, niezależnie od zmian warunków

wilgotnościowych, czy presji antropogenicznej. Utrudnia to jednoznaczne wykorzystywanie tych bioindykatorów do oceny stanu jakości geoekosystemów. Generalna tendencja zmniejszania plech porostów najbardziej wrażliwych a wręcz zanik wielu gatunków w prawie wszystkich Stacjach ZMŚP nie wykazuje wprost zależnej prawidłowości z tendencją poprawy jakości powietrza i opadów atmosferycznych (Szpikowski 2012). Przy braku jednoznacznych standardów wskaźnikowych nawet długie serie pomiarowe są dość trudne do wnioskowania.



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

Ryc. 30 Zmiany powierzchni plech porostów na wszystkich stanowiskach monitoringowych w Storkowie latach 2002 – 2013 (wartości przedstawiono w % w stosunku do stanu zerowego – pierwszy rok obserwacji (2001) wartość 0%), (Domańska 2014, zmienione) w odniesieniu do rocznej klasyfikacji opadów atmosferycznych.

10. OCENA STANU GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI W ROKU 2013 NA TLE LAT 1994-2012

W 2013 roku hydrologicznym program ZMŚP realizowano w dziewięciu Stacjach Bazowych których lokalizacja nawiązuje do zróżnicowania struktury krajobrazowej Polski. Funkcjonowanie zlewni ZMŚP podlegało zarówno wpływom czynników naturalnych jak i antropogenicznych, np. w młodoglacjalnej strefie nizinnej badaniom poddano 5 zlewni o odmiennych, lokalnych uwarunkowaniach, które determinowały stan środowiska przyrodniczego: Biała Góra (duże znaczenie wpływu Bałtyku na atmosferyczną dostawę ładunku substancji rozpuszczonych, zwłaszcza w postaci aerozoli morskich), Storkowo i Puszcza Borecka (względnie niska antropopresja) i Koniczynka (bardzo duża antropopresja związana z funkcjonowaniem zmeliorowanej zlewni o użytkowaniu rolniczym).

Ze względu na położenie zlewni badawczych ZMŚP w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej o funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego w badanych geoekosystemach decydował przede wszystkim obieg wody i związany z tym przepływ materii, głównie rozpuszczonej. Rok 2013 odznaczał się dużym zróżnicowaniem przestrzennym atmosferycznej dostawy wody. Pod względem ilości opadów był rokiem od bardzo suchego w Storkowie i suchego na Świętym Krzyżu, poprzez normalny w Wigrach i Szymbarku, do wilgotnego w Koniczynce i Puszczy Boreckiej oraz bardzo wilgotnego w Kampinosie. Zróżnicowanie przestrzenne opadów atmosferycznych w 2013 roku było wyjątkowo duże i nie wykazywało prawidłowości regionalnych. W 2013 roku przebieg wskaźnika WTO na większości Stacji odzwierciedlał pewną stabilizację lub bardzo nieznaczną obniżkę zasobów wodnych w zlewniach. Wydaje się, że w nawiązaniu do cyklicznej zmienności wskaźnika WTO od 2013 roku występuje tendencja do zmniejszania się zasobów wodnych w większości badanych geoekosystemów – poza Kampinosem.

W obiegu materii w monitorowanych geoekosystemach znaczną rolę spełniał ładunek zanieczyszczeń dostarczony z mokrą depozycją atmosferyczną. W 2013 roku w odniesieniu do roku poprzedniego stężenia azotanów i siarczanów cechowały się dużym zróżnicowaniem czasowym i przestrzennym, bez wyraźnej regionalnej prawidłowości. Stężenie siarczanów w opadach atmosferycznych w 2013 roku było wyższe niż w roku ubiegłym w większości Stacji ZMŚP: Biała Góra, Wigry, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż i Szymbark. W Stacji Puszcza Borecka stężenie roczne siarczanów w opadach atmosferycznych właściwie nie uległo

zmianie a w Stacjach Storkowo i Roztocze koncentracja SO_4 się zmniejszyła. W przypadku stężenia azotanów na większości Stacji nie stwierdzono wyraźnej zmiany w odniesieniu do poprzedniego roku. Jedynie w Storkowie i na Świętym Krzyżu stężenie NO_3 wzrosło, a w Białej Górze i Roztoczu było wyraźnie niższe. Największy, niekorzystny dla środowiska przyrodniczego wzrost stężenia siarczanów (o 30%) i azotanów (o 300%) powodujący zakwaszenie środowiska stwierdzono na Świętym Krzyżu. Odwrotną, pozytywną prawidłowość stwierdzono na Roztoczu, gdzie redukcja zawartości siarczanów w opadach była największa (o 100%). Ładunek zanieczyszczeń wnoszony do zlewni z opadami atmosferycznymi (wyrażony miarą SEC) odgrywał istotną rolę w kształtowaniu obiegu zanieczyszczeń w zlewniach ZMŚP. W 2013 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 dwóch lat bardzo wysoka mineralizacja opadów na Stacji Wigry jest zastanawiająca, a jej geneza 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 obniżenia mineralizacji opadów atmosferycznych w badanych zlewniach w 2013 roku, co było szczególnie widoczne w Stacji Kampinos, której SEC była najniższa w całej piętnastoletniej serii pomiarowej. Poprawa jakości opadów w Kampinosie jest pewnym przejawem coraz mniejszej presji dostawy zanieczyszczeń z aglomeracji warszawskiej. W 2013 roku wartości odczynu opadów atmosferycznych spadły w porównaniu z rokiem poprzednim, ale pomimo tego aż osiem Stacji posiadało opad o odczynie normalnym i lekko obniżonym. Poprawiła się jakość odczynu opadów na Świętym Krzyżu (z znacznie obniżonego do lekko obniżonego). Natomiast drastycznie obniżył się odczyn opadów na południu Polski, w Szymbarku (z lekko do silnie obniżonego), co wskazuje na bardzo silne zanieczyszczenie antropogeniczne, o dotychczas nieustalonym źródle. W 2013 roku potwierdzona została tendencja do większej roli tlenków azotu niż dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów atmosferycznych, którego udział w zakwaszaniu opadów jest największy od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku.

O dobrym stanie jakości wód krążących w zlewniach badawczych świadczy cząstkowa ocena stanu chemicznego wód podziemnych. Dobrym stanem chemicznym odznaczały się wody podziemne monitorowane we wszystkich badanych zlewniach, oprócz Kampinosu. Słaba ocena cząstkowa stanu chemicznego w Kampinosie wynikała z czynników naturalnych, gdzie monitorowane płytkie warstwy wodonośne miały bezpośredni kontakt z infiltrującymi zanieczyszczeniami z powierzchni ziemi. W Kampinosie wysokie opady atmosferyczne spowodowały znaczne podniesienie wód podziemnych i ich stagnację na powierzchni terenu. Stężenia większości badanych związków chemicznych w wodach podziemnych w 2013 roku były zbliżone do wartości średnich z wielolecia, co świadczy o stabilnym składzie chemicznym wód podziemnych w większości badanych geoekosystemów. 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 potencjalnie zagrożenie wzmożonej eutrofizacji. Działaniem zapobiegawczym jest w tym przypadku zachowanie stref nadrzecznych i przyjeziornych z naturalnymi strefami roślinności, w których zachodzi proces redukcji biogenów. Jednakże w żadnej zlewni nie przekroczono stężenia $50 \text{ mg NO}_3/\text{dm}^3$.

W 2013 roku wody rzeczne pod względem wybranych wskaźników fizykochemicznych na siedmiu Stacjach Bazowych ZMŚP można zakwalifikować do klasy o bardzo dobrej i dobrej jakości wody. Do cząstkowej oceny stanu ekologicznego jako poniżej dobrej zakwalifikowano Lewińską Strugę na wyspie Wolin 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 i nie wynikają z zagrożenia dostawy zanieczyszczeń antropogenicznych, np. pochodzenia rolniczego czy komunalnego. O zaliczeniu cieku C6 na Świętym Krzyżu do klasy jakości wody poniżej stanu dobrego zadecydowała niska wartość odczynu wody (pH 5,46) i w konsekwencji jej silne zakwaszenie. O dobrym stanie jakości wód rzecznych w 2013 roku świadczyć może brak zagrożenia monitorowanych cieków wzmożoną eutrofizacją. Jedynie w użytkowanej rolniczo zlewni Strugi Toruńskiej zostały przekroczone wartości graniczne stężenia fosforu ogólnego, azotu azotanowego i azotanów. Jednakże

warto podkreślić, że stężenia biogenów w Strudze Toruńskiej wykazują w ostatnich latach pozytywny trend spadkowy.

W 2013 roku cząstkowa ocena stanu ekologicznego monitorowanych 3 jezior w zakresie stężenia biogenów uległa poprawie. Tylko Jezioro Łękuk posiadało stężenia biogenów (N, P) wyższe od granicznych wartości dla stanu dobrego. Gorszy stan ekologiczny Jeziora Łękuk wynika przede wszystkim z naturalnych, lokalnych uwarunkowań przyrodniczych (np. działalność biogeniczna bobrów w bezpośredniej zlewni Jeziora) i nie jest spowodowany dostawą zanieczyszczeń antropogenicznych.

Wieloletnie badania ilościowe i jakościowe badanych 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 zanieczyszczeń komunikacyjnych w kształtowaniu jakości powietrza atmosferycznego niż zanieczyszczeń przemysłowych i komunalnych.

Ze względu na stosunkowo krótkie serie pomiarowe na niektórych Stacjach Bazowych (np. Biała Góra, Roztocze) oraz niewystarczające rozłożenie Stacji Bazowych ZMŚP w poszczególnych strefach krajobrazowych Polski (np. brak Stacji w strefie gór średnich i wysokich) dokonanie pełnej analizy regionalnej stanu środowiska przyrodniczego Polski jest znacznie utrudnione. W oparciu o dwudziestoletni okres funkcjonowania ZMŚP można stwierdzić, że największe znaczenie na stan, zmienność i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski posiadają 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 ważne aczkolwiek drugorzędne znaczenie na stan środowiska geograficznego badanych geoekosystemów. Jednakże w przypadku analizy niektórych geowskaźników, np. stężenia i udziału w opadach atmosferycznych jonów pochodzenia morskiego (Cl^- , Na^+) możliwa jest w Polsce regionalizacja jakości opadów atmosferycznych w transekcie południkowym i równoleżnikowym. Dokonana regionalizacja wskaźnika chlorkowo-sodowego opadów atmosferycznych wskazuje na „nienaturalnie” podwyższone stężenie jonów pochodzenia morskiego w pasie

Wyżyn Polski (Stacje Święty Krzyż i Roztocze), czego przyczyną może być antropopresja związana z zanieczyszczeniami atmosferycznymi.

Analiza bioindykatorów analizowanych w programach ZMŚP wykazała potrzebę udoskonalenia metodyki interpretacji wyników monitoringu biotycznego. Konieczne jest wprowadzenie do badań bioindykatorów hydrobiologicznych, np. makrofity i hydromorfologicznej oceny koryt rzecznych, monitoringu roślin inwazyjnych obcego pochodzenia. Powyższe biowskaźniki wprowadzone będą od 2015 roku i dobrze uzupełnią biotyczną ocenę stanu środowiska przyrodniczego badanych zlewni.

Posiadając w Centralnej Bazie Danych ZMŚP dwudziestoletnie ciągi pomiarowe uzasadnione jest prognozowanie przyszłych zmian środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach. Od 2015 roku w raportach Stacji Bazowych ZMŚP obligatoryjnie przedstawiana będzie prognoza zmian funkcjonowania wybranych abiotycznych i biotycznych komponentów środowiska przyrodniczego, np. przewidywanie zmian opadów atmosferycznych i odpływu wody ze zlewni w odniesieniu do ładunku związków kwasotwórczych $S-SO_4$, $N-NO_3$ czy biogenów (związków azotu i fosforu). Przewidywanie przyszłych zmian funkcjonowania badanych zlewni dotyczyć będzie jednolitych interwałów czasowych, np. za 10, 30 i 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 GIOŚ posiada znaczenie dla ochrony zasobów przyrodniczych Polski. Siedem zlewni badawczych ZMŚP (oprócz Koniczynki i Szymbarku) znajduje się w granicach obszarów specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000, z których pięć położonych jest ponadto w Parkach Narodowych. Wyniki monitoringu zintegrowanego są przydatne dla Parków Narodowych oraz pomagają w realizacji programu Natura 2000, gdyż służą ochronie dziedzictwa przyrodniczego Polski.

11. Literatura

- Bochenek W., Kijowska-Strugała M., Kiszka K., 2014: Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Szymbark w roku hydrologicznym 2013. Szymbark, maszynopis.
- Domańska M., 2014: Epifity nadrzewne, uszkodzenia drzewostanów, fauna epigeiczna. [W:] Kostrzewski A., Domańska M., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., Szpikowski J., Zwolinski Z., 2014: Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2013. Storkowo – Poznań, maszynopis: 110-115.
- Froehlich, W., 1982: Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. *Prace Geogr. IGiPZ PAN*, 143.
- Gil E., Bochenek W., 1998: Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Szymbarku za lata hydrologiczne 1994-1997. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoekosystemów Polski w latach 1994-1997. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 183-221.
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2011: Ocena stanu i potencjału ekologicznego i chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych płynących zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych (badanych w ramach monitoringu operacyjnego – MO) na podstawie danych za 2010 rok w układzie województw i dorzeczy zgodnie z rozporządzeniem mś z 20 sierpnia 2008 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych. Warszawa, pp. 22.
<http://www.gios.gov.pl/zalaczniki/artykuly/ocena2010wody.pdf>
- Grodzińska, K., Laskowski, R., 1996: Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa). *Bibl. Monit. Środ.* Warszawa.
- Herbich J., 2003: Dyrektywa Siedliskowa – założenia, realizacja, perspektywy. *Parki Narodowe*, 2, 3-8.
- Inspekcja Ochrony Środowiska, 2013: katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, pp. 717.
- Isidorow W., Jaroszyńska J. 1998. Chemiczne problemy ekologii, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
- Jansen W., Block A., Knaack J. 1988. Kwaśne deszcze, Historia, powstawanie, skutki. [W:] *Aura* 4: 18-19.
- Jóźwiak M., Jóźwiak M.A., Kozłowski R., 2013. Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Święty Krzyż w roku hydrologicznym 2012. 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., 2014: Raport za rok hydrologiczny 2013. 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., 2014: Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2013. 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.
- Kostrzewski, A., Mazurek, M., Zwoliński, Z., 1994: Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań, ss. 165.
- 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., 2014: Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Wigry w roku hydrologicznym 2013. 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., 2000. Opady atmosferyczne. W: A. Kostrzewski (red.). Raport z realizacji programu pomiarowego ZMŚP w Stacji Bazowej Storkowo za rok 1999. Maszynopis.
- 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., Borowski J., Degórska A., Łęgowski D., Mazur, S., Perliński S., Skłodowski J., Tarłowski A., Wierzbicki A., 2014. Raport o stanie środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP „Kampinos” w roku 2013. 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 2008a: Z Dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji Stanu Jednolitych Części Wód Powierzchniowych. DU Nr 162, poz. 1008.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2008b: Z Dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie klasyfikacji zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. DU Nr 143, poz. 896.
- Rynkiewicz A., 2007. Problemy eutrofizacji wód w Polsce i ich ograniczanie w sposób naturalny. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Poznań.
- Samoląg M., Kostrzewski A., Tytkowski J., Ścisłowska P., Winowski M., 2014: Raport Stacji Bazowej ZMŚP Biała Góra za rok 2013. Biała Góra, maszynopis.
- Sapek A., 2009: Współczesne źródła chlorków w środowisku wód śródlądowych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 40, 455-464.
- Skotak K., Śnieżek T., Białokórska U., Degórska A., Prządka Z., Typiak-Nowak D., 2014. Ocena stanu środowiska Stacji Bazowej ZMŚP Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2013. Warszawa, maszynopis.
- Stachyra P., Radliński B., Grabowski T., Kaszewski B.M., Siwek, K., Gluza A., Gleń G., Orzeł I., Suryś D., Głowacki S., Chmiel S., 2014: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze Roztoczańskiego Parku Narodowego w roku 2013. Zwierzyniec, maszynopis.
- Szpikowska, G., 2004: Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodoglacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). [W:] Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów w warunkach narastającej antropopresji, M. Kejna, J. Uscka (Red.). Bibl. Monit. Środ.: 167-176.
- Szpikowska G., 2011. Uwarunkowania i zmienność chemizmu wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta). [W:] A. Kostrzewski, M. Samoląg (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Vol. XXVIII, Biała Góra: 173-186.
- Szpikowska, G., Tytkowski, 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
- Tytkowski, J., 2005: Sezony transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania rzek Pobrzeża Bałtyku. [W:] Plejstoceńskie i holoceniowe przemiany środowiska przyrodniczego Polski, K. Borówka (Red.), US, INoM, PTG, Szczecin: 58-62.
- Tytkowski 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
- Wierzbicki A., 1998: Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Kampinoskiego Parku Narodowego w Pożarach za lata hydrologiczne 1994-1997. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoekosystemów Polski w latach 1994-1997. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 161-181.
- 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.

Żarska B., Degórska A., Prządka Z., Śnieżek T., Smoleński A., Cydzik J., 1998: Reprezentatywność środowiska przyrodniczego obszaru zlewni Jeziora Łękuk i Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego „Puszcza Borecka”. [W:] A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 67-74.