

Dr Jacek Tylkowski

Stacja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego UAM w Białej Górze

Instytut Geoekologii i Geoinformacji

Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

jatyl@amu.edu.pl

Stan geoekosystemów Polski w roku 2012

na podstawie badań

Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Biała Góra 2013

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Zlewnie badawcze ZMŚP w roku 2012	6
3. Zlewnie badawcze ZMŚP a program Natura 2000	8
4. System pomiarowy Stacji Bazowych ZMŚP w roku 2012	12
5. Zakres wykonywanych programów pomiarowych przez Stacje Bazowe ZMŚP w roku 2012	17
6. Wybrane geowskaźniki ilościowe obiegu wody w geoekosystemach ZMŚP	24
7. Wskaźniki fizykochemiczne jakości wód powierzchniowych i podziemnych	50
8. Wpływ warunków wodnych na stan bioindykacji	54
9. Ocena stanu geoekosystemów Polski w roku 2012 na tle lat 1994-2011	58
10. Literatura	61

1. WPROWADZENIE

Opracowanie zostało wykonane w ramach realizacji umowy 35/2012/F z dnia 19.09.2012, która została zawarta pomiędzy Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Umowa dotyczy „Realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2012-2014”. Niniejsze opracowanie dotyczy 2. etapu niniejszej umowy – „Opracowanie corocznych sprawozdań stan geoekosystemów Polski”. Celem opracowania jest określenie stanu geoekosystemów Polski w roku 2012, w odniesieniu do danych wieloletnich. Podstawę opracowania stanowiły raporty z dziewięciu Stacji Bazowych ZMŚP za rok 2012 (Bochenek i in. 2013, Józwiak i in. 2013, Kejna i in. 2013, Kostrzewski i in. 2013 a, b, Krzysztofiak i in., Olszewski i in. 2013, Stachyra i in. 2013, Śnieżek i in. 2013) oraz dane monitoringowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata 1994-2012.

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 aspektach: bilansu energii i materii w układzie zlewni rzecznej lub jeziornej oraz przepływu materii w profilu: atmosfera – roślinność – gleba. W monitoringu zintegrowanym badaniom poddane są za pomocą biowskaźników wybrane biotyczne elementy geoekosystemu. Monitorowane elementy abiotyczne dotyczące głównie obiegu wody przedstawione są w sposób kompleksowy za pomocą geoindykatorów, które do raportów ZMŚP wprowadził Szpikowski (2011, 2012).

Głównym celem opracowania jest syntetyczne przedstawienie informacji o stanie oraz tendencjach rozwoju wybranych geoekosystemów Polski w 2012 roku na tle lat poprzednich. W raportach ze Stacji Bazowych umieszczono informacje o rodzajach zagrożeń dla funkcjonowania środowiska przyrodniczego badanych zlewni oraz propozycje działań, które pozwolą zachować ich zasoby przyrodnicze. Zgromadzone dane pozwolą wskazać również tendencje rozwoju geoekosystemów - prognozy krótko- i długoterminowe. Badania realizowane na dziewięciu Stacjach Bazowych ZMŚP, w wytypowanych zlewniach reprezentatywnych dotyczyły dwóch głównych aspektów:

- monitoringu przepływu energii (wody) i obiegu materii (substancji rozpuszczonych) w geoekosystemach, który umożliwia wykonanie bilansów wodnych i jonowych dla dwóch układów przestrzennych:
 - ✓ profilu pionowego atmosfera – roślinność – profil glebowy – wody podziemne
 - ✓ zlewni rzecznej (zlewni jeziornej) - dostawa i odprowadzanie wody i substancji rozpuszczonych,
- bioindykacji wybranych biologicznych elementów geoekosystemów czułych na zmiany bilansu energii, biogenów i elementów toksycznych.

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w odróżnieniu od monitoringów specjalistycznych ujmuje kompleksowo środowisko przyrodnicze w oparciu o

standaryzowane skoncentrowane badania stacjonarne w zlewniach reprezentatywnych. Ma na celu rejestrację i analizę 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 wyniki mogą stanowić podstawę prognozy, która dostarczy zasobu informacji do wykorzystania w działaniach ochronnych w ramach sieci NATURA 2000.

Identyfikacja źródeł zagrożeń środowiska przyrodniczego obszarów monitorowanych w ramach programu ZMŚP jest szczególnie ważna w kontekście działań ochronnych prowadzonych w ramach Europejskiej Sieci Ekologicznej NATURA 2000. Zdecydowana większość Stacji Bazowych ZMŚP (7) położona jest w granicach obszarów wchodzących w skład sieci NATURA 2000.

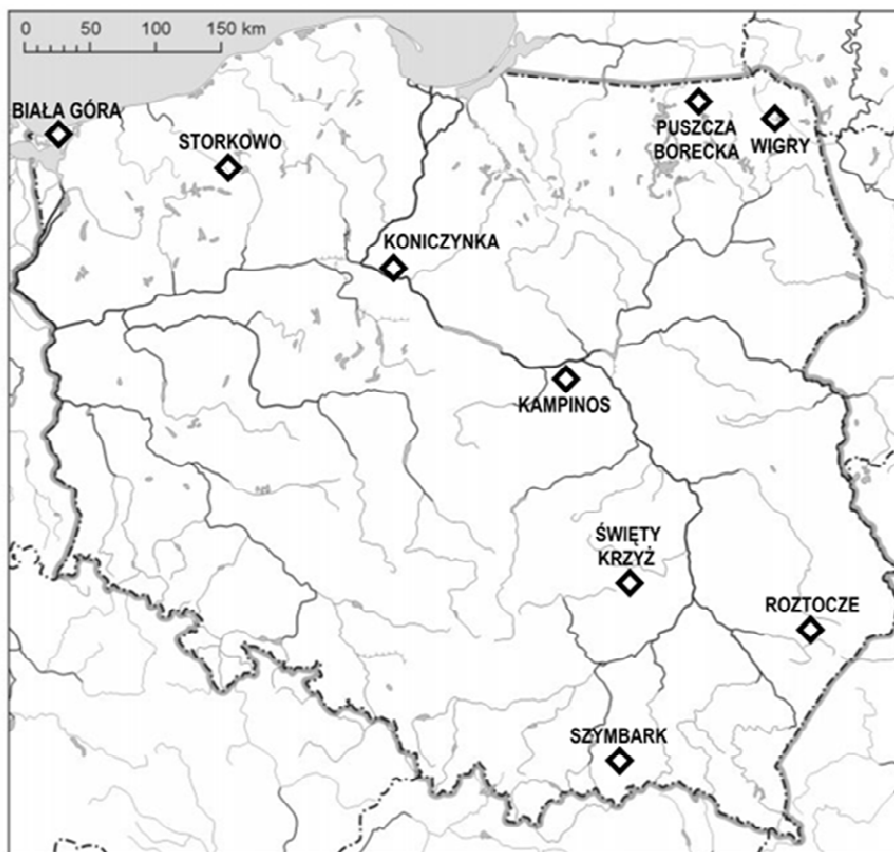
W ramach metodologii i metodyki badawczej ZMŚP sporządzono syntezy o stanie geoekosystemów Polski (Kruszyk 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, Major 2007, 2008, Szpikowski 2011, 2012). Wykonanie syntez o stanie środowiska przyrodniczego w odniesieniu do obiegu materii i energii w geoekosystemach stanowiło postęp w stosunku do pierwszych zestawień, które głównie komentowały wyniki uzyskane przez Stacje Bazowe w ramach realizacji poszczególnych programów badawczych a nie ukazywały związków przyczynowo-skutkowych (Zwoliński 1997, Kolander 1999, Kruszyk 2003, Mazurek, Zwoliński 2000, 2001, 2002).

Synteza o stanie geoekosystemów Polski powinna zawierać wnioski pozwalające na uzyskanie jak najbardziej pełnych informacji o aktualnym stanie, zagrożeniach i trendach rozwoju środowiska geograficznego. Raport za rok 2012, podobnie jak raporty za rok 2010 i 2011, został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki zaproponowane przez Szpikowskiego (2011, 2012). Ponadto wskazano trendy zmian w środowisku przyrodniczym zlewni ze wskazaniem wartości ekstremalnych w 2012 roku oraz stan środowiska przyrodniczego w nawiązaniu do wybranych parametrów chemicznych 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 warsztat badawczy daje duże możliwości uzyskiwania danych ilościowych o stanie środowiska i prognozach jego rozwoju. Niestety ze względu na krótkie serie pomiarowe nie wszystkie z nich mogą być wykorzystane i interpretowane. Zbyt krótkie serie pomiarowe nie pozwalają na wieloletnią analizę statystyczną trendów i prawidłowości otrzymywanych z monitoringu biotycznego (np. wielkość i stan plech porostów, metale i siarka w porostach, fauna epigeiczna czy stan zdrowotności drzewostanów). Niemniej dane ilościowe monitoringu biotycznego i abiotycznego są sednem realizacji głównych założeń metodycznych programu ZMŚP i pozwalają na wprowadzanie i stosowanie tzw. „geoindykatorów”. Dotyczy to np. zdefiniowania wskaźników jakości środowiska czy określenia progów odporności środowiska na zagrożenia jego funkcjonowania.

2. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP W ROKU 2012

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 obrębie 9 Stacji Bazowych (tab. 1, ryc. 1), w reprezentatywnych zlewniach rzecznych lub jeziornych. W funkcjonującym obecnie systemie pomiarowym Stacji Bazowych można wyróżnić transekt południkowy, który nawiązuje do równoleżnikowego układu głównych stref krajobrazowych Polski: strefa młodoglacjalna Nizżu Polskiego - Biała Góra, Storkowo, Koniczynka, Puszcza Borecka, Wigry, strefa staroglacjalna Nizżu Polskiego – Kampinos, strefa wyżynna – Roztocze, góry niskie – Święty Krzyż i góry średnie - Szymbark. W ramach strefy młodoglacjalnej Nizżu Polskiego można wyznaczyć transekt równoleżnikowy, przebiegający przez Stacje: Biała Góra, Storkowo, Koniczynka, Puszcza Borecka, Wigry.



Biała Góra - Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań,
Storkowo - Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań,
Puszcza Borecka - Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa,
Wigry - Wigierski Park Narodowy, Krzywe,
Koniczynka - Uniwersytet M. Kopernika, Toruń,
Kampinos - Kampinoski Park Narodowy, Izabelin,
Święty Krzyż - Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy, Kielce,
Roztocze - Roztoczański Park Narodowy, Zwierzyniec,
Szymbark - Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Kraków.

Ryc. 1. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2012 roku

Wśród zlewni badawczych ZMŚP położonych w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego monitoringiem objęto następujące zlewnie:

- Jeziora Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra),
- górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo),
- Jeziora Łękuk (Stacja Bazowa Puszcza Borecka),
- Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry),
- Strugi Toruńskiej (Stacja Bazowa Koniczynka).

Pierwsze cztery zlewnie są w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie. Natomiast zlewnia Strugi Toruńskiej jest przekształcona przez działalność człowieka, związaną głównie z rolnictwem i melioracjami.

Zlewnia Jeziora Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra) reprezentuje geoekosystem nadmorski położony na wyspie Wolin, na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. O indywidualności badanej zlewni decyduje jej nadmorskie położenie w bezpośrednim sąsiedztwie wybrzeża klifowego, bezodpływowość oraz pełne zalesienie drzewostanem - głównie 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 obszarów młodoglacjalnych umiarkowanej strefy klimatycznej. Zlewnia górnej Parsęty pozostaje jeszcze obszarem stosunkowo mało intensywnych przemian środowiska przyrodniczego.

Zlewnia badawcza Stacji Bazowej Wigry zajmuje obszar należący do przyrzecza Czarnej Hańczy. O jej krajobrazie decydują utwory i formy lodowcowe oraz wodnolodowcowe z okresu recesji lądolodu fazy pomorskiej. Obszar ten ma najbardziej surowe warunki klimatyczne w nizinnej części Polski.

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 w Stacji Bazowej Koniczynka reprezentuje młodoglacjalny geoekosystem przeobrażony rolniczo, który 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 badawczych Kanału Olszowieckiego monitorowana przez Stację Bazową Kampinos. Obszar ten znajduje się w Puszczy Kampinoskiej, w której dominuje geoekosystem bagienno-łukowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Zlewnia podlega zanieczyszczeniom atmosferycznym z Warszawy i zanieczyszczeniom rolniczym z Równiny Błońskiej (Wierzbicki 1998).

Wyżynna zlewnia rzeki Świerszcz objęta została badaniami monitoringowymi przez Stację Bazową Roztocze. Rzeka Świerszcz jest śródlęsnym 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. 2013).

Stacja Bazowa Święty Krzyż obejmuje badaniami zlewnię leśno-rolniczą w strefie niskich Gór Świętokrzyskich, w masywie Łysogór. Zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych jak i ponadregionalnych emisji przemysłowych, co spowodowało już niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych (Jóźwiak i in. 2013).

Stacja Bazowa Szymbark zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoeosystem gór średnich - Karpat Fliszowych. 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 roku 2009 a Stacja Bazowa Roztocze funkcjonuje zaledwie 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.

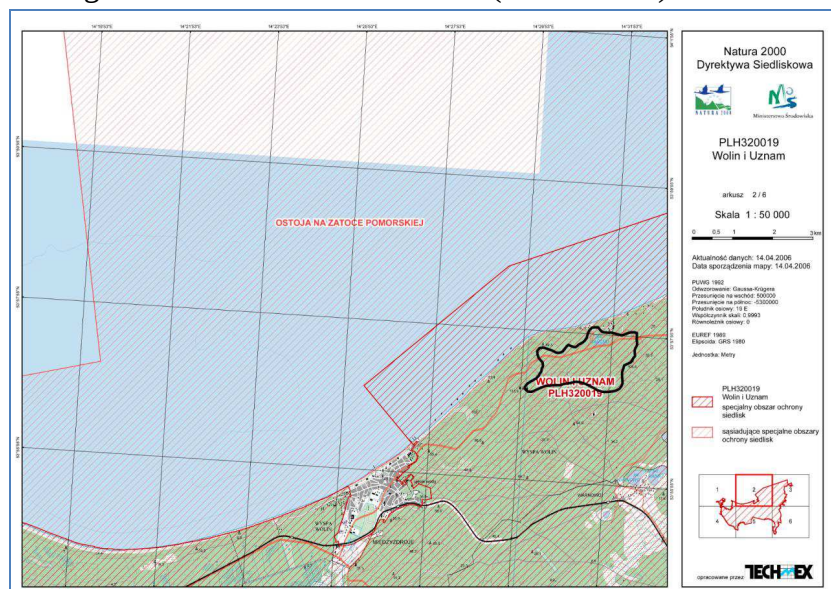
3. ZLEWNIE BADAWCZE ZMŚP A PROGRAM NATURA 2000

Pięć zlewni ZMŚP położonych jest w Parkach Narodowych: Wolińskim, Wigierskim, Kampinoskim, Świętokrzyskim i Roztoczańskim. Siedem zlewni badawczych Stacji Bazowych ZMŚP położonych jest na obszarach włączonych do sieci Natura 2000. Podnosi to znaczenie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego dla ochrony siedlisk

przyrodniczych i dla zachowania dobrych warunków dla ochrony fauny i flory m. in. dziko żyjących ptaków (Dyrektywa Ptasia oraz Dyrektywa 92/43/EWG, tzw. Dyrektywa Siedliskowa). W związku z powyższym program ZMŚP może być wykorzystany do oceny stanu oraz ewentualnych zagrożeń siedlisk w programie Natura 2000.

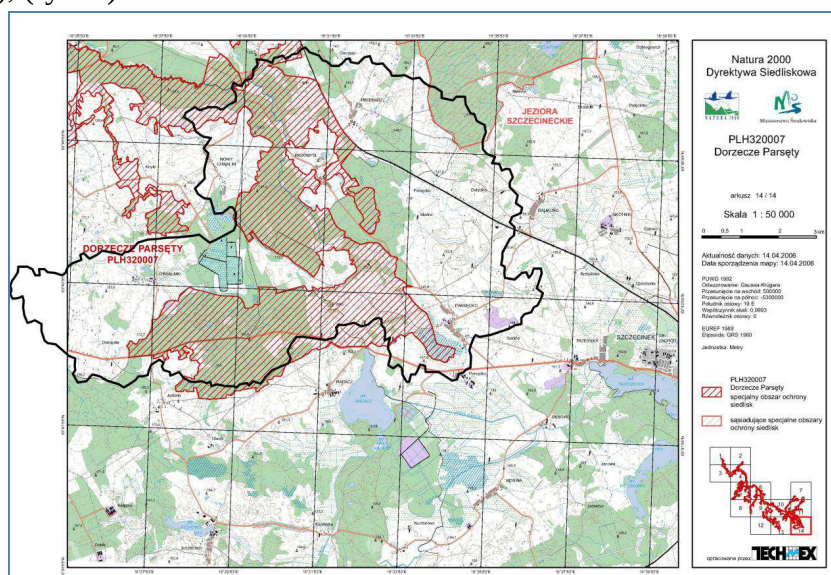
Pośród dziewięciu Stacji Bazowych ZMŚP siedem jest położonych całkowicie, albo w znacznej części na obszarach Natura 2000. Jedynie zlewnie Stacji Bazowych w Koniczynie oraz w Szymbarku są położone poza granicami obszarów Natura 2000.

Zlewnia jeziora Gardno w Białej Górze położona jest całkowicie w Wolińskim Parku Narodowym oraz w granicach obszaru Natura 2000 (PLH320019) Wolin i Uznam (ryc. 2).



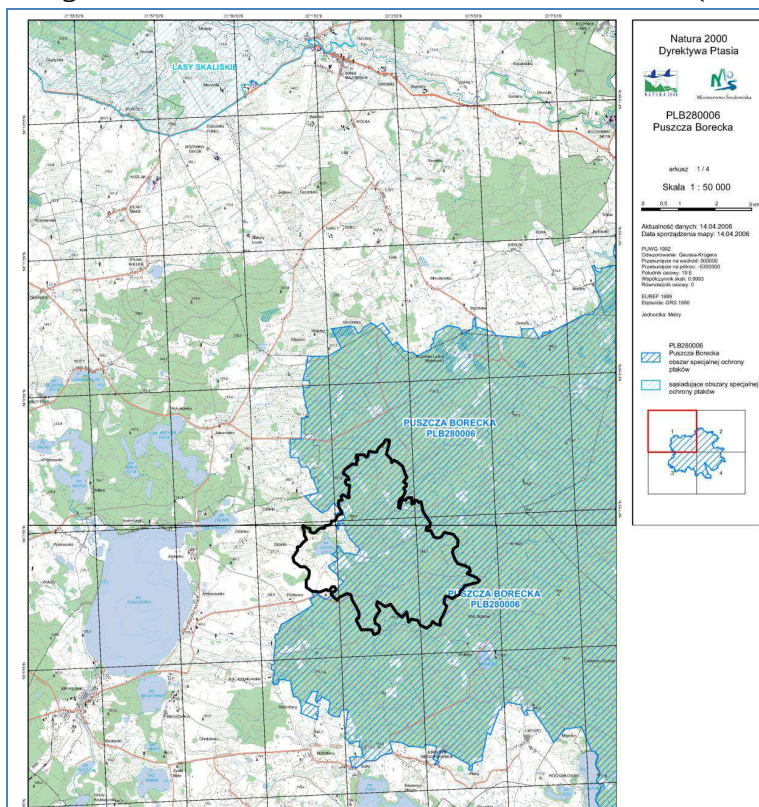
Ryc. 2. Położenie zlewni jeziora Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Około 35% powierzchni zlewni górnej Parsęty w Stacji Bazowej Storkowo wchodzi w skład Obszaru Natura 2000 w ramach Dorzecze Parsęty (PLH320007) i Jeziora Szczecińskiego (PLH 320009), (ryc. 3).



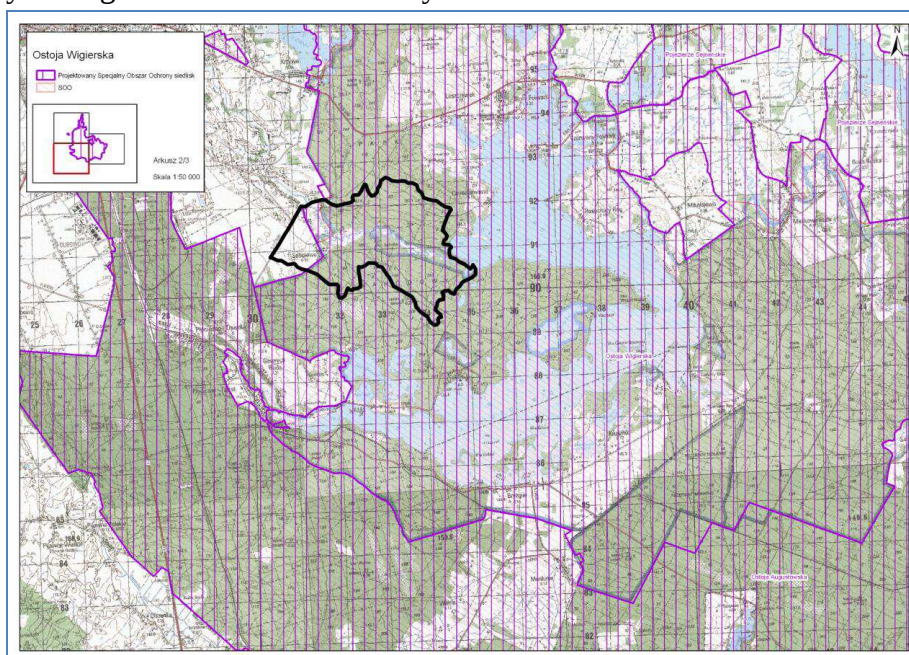
Ryc. 3. Położenie zlewni górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

Zlewnia jeziora Łękek monitorowana przez Stację Bazową Puszcza Borecka w około 80% położona jest w granicach obszaru Natura 2000 Puszcza Borecka (PLH280006), (ryc. 4).



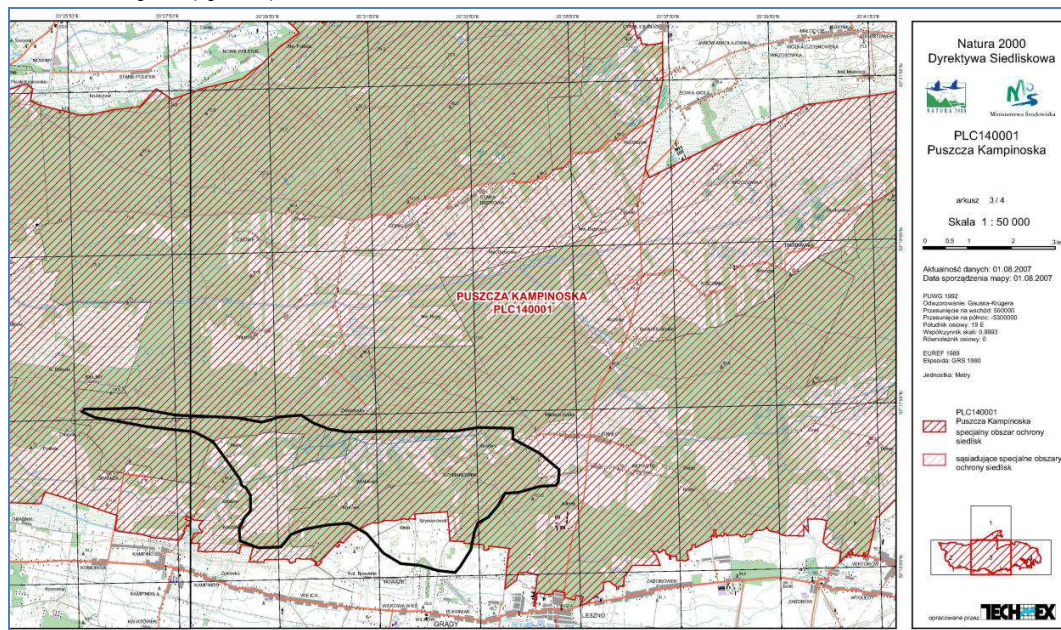
Ryc. 4. Położenie zlewni jeziora Łękek (Stacja Bazowa Puszcza Borecka) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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



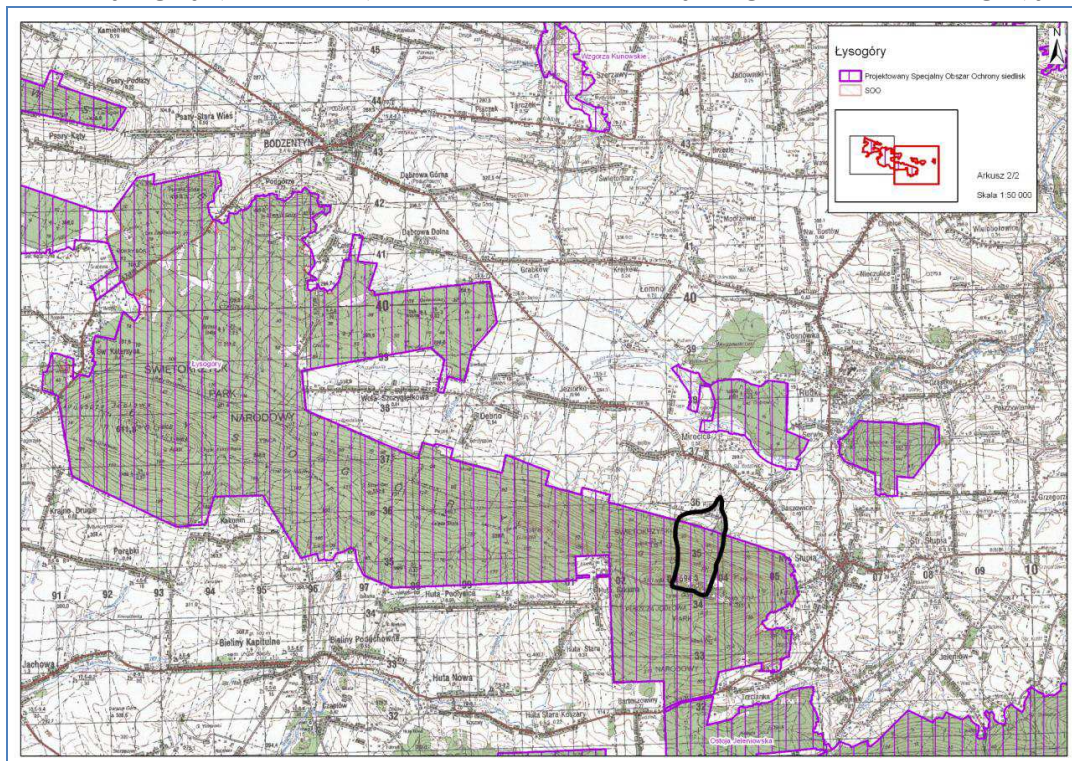
Ryc. 5. Położenie zlewni różnicowej Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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. 6).



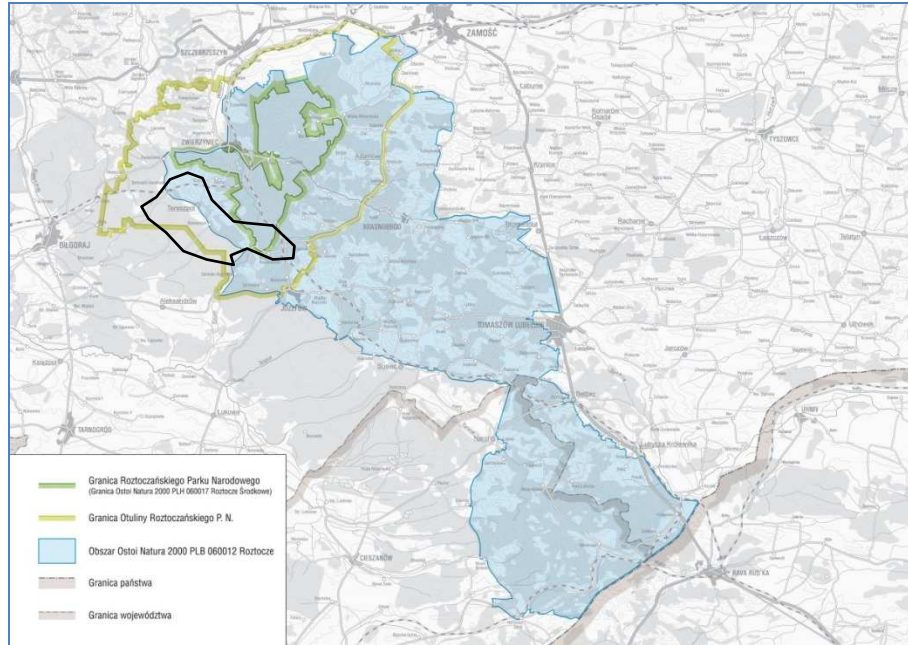
Ryc. 6. Położenie zlewni Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos) na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

Okolo 75% zlewni badawczej w Stacji Bazowej Święty Krzyż leży w granicach obszaru Natura 2000 Łysogóry (PLH260002) oraz na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego (ryc. 7).



Ryc. 7. Położenie zlewni badawczej w Stacji Bazowej Święty Krzyż na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

W aspekcie statusu ochronnego zlewnia Świerszcza 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. 8).



Ryc. 8. Położenie zlewni Świerszcza (Stacja Bazowa Roztocze) na tle obszarów Natura 2000 (<http://www.roztoczanskipn.pl/RPNA4nr3.jpg>)

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

4. SYSTEM POMIAROWY STACJI BAZOWYCH ZMŚP W ROKU 2012

Program pomiarowy ZMŚP realizowany w roku 2012 w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 2. Stacje Bazowe zrealizowały w roku 2012 założony program podstawowy. Sytuacją nadzwyczajną – wycinką drzew niezależną od działań Stacji – należy wyjaśnić nie zrealizowanie programu M1 epifity nadrzewne przez Stację w Szymbarku. Natomiast w Kampinosie nie zrealizowano programu F1 roztworów glebowych ze względu na brak aparatury niezbędnej do poboru próbek wód glebowych.

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

- erozja wodna gleb (Storkowo i Szymbark)
- osuwiska (Szymbark)
- morfodynamika wybrzeża klifowego (Biała Góra)
- zanieczyszczenie powietrza (Puszcza Borecka)

- monitoring gatunków obcych (Wigry)
- fauna glebowa i awifauna lęgowa (Koniczynka)
- wody drenarskie (Koniczynka)
- fauna kusakowatych z marnikowatymi, sprzążkowatych, mrówek i pajaków (Kampinos)
- malakofauna (Kampinos)
- depozycja i transformacja materii w hydrosferze (Święty Krzyż)
- monitoring Lęgowych Sów Leśnych (Roztocze)
- monitoring Pospolitych Ptaków Lęgowych (Roztocze)

Tab. 2. Podstawowy program pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe ZMŚP w roku 2012

Program pomiarowy Podstawowy			Biała Góra	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
Meteorologia A1											
Chemizm powietrza B1											
Chemizm opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej 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 J1											
Uszkodzenia drzew i drzewostanów K1											
Epifity nadrzewne M1											
Fauna epigeiczna O1											
realizowany przez Stacje	nie realizowany – brak w zlewni danego komponentu środowiska geograficznego	nie realizowany w roku 2012 – program realizowany co 5 lat	realizowany przez zespoły specjalistyczne			nie realizowany – brak sprzętu, lub inne przyczyny			nie realizowany		

Przegląd programów pomiarowych:

Program pomiarowy METEOROLOGIA – A1

Stacje Bazowe prowadzą pomiary meteorologiczne przy pomocy automatycznych stacji meteorologicznych typu Vaisala. We wszystkich Stacjach prowadzi się dodatkowy pomiar manualny wybranych elementów pogodowych o godz. 6.00 czasu GMT. Ponadto Stacje: Biała Góra, Storkowo i Szymbark prowadzą systematyczne pomiary manualne wszystkich elementów pogodowych o godz. 6.00, 12.00 i 18.00 czasu GM.

Program pomiarowy CHEMIZM POWIETRZA – B1

Stacje Bazowe realizują ten program poprzez:

- metodę pasywną z próbkowaniem 1 raz na miesiąc: Biała Góra, Wigry,
- metodę automatyczną: Storkowo, Kampinos, Roztocze,
- metodę pasywną i automatyczną: Konieczynka, 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 lub, w przypadku metody pasywnej, z usług firmy Propagator.

Program pomiarowy CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH – C1

Program C1 jest realizowany przez wszystkie Stacje Bazowe. Chemizm opadów atmosferycznych mokrych określano 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.

Program pomiarowy OPAD PODOKAPOWY C2

Program jest realizowany przez 8 Stacji Bazowych. Stacja Konieczynka nie realizuje programu C2 z powodu braku powierzchni leśnych w zlewni badawczej Strugi Toruńskiej. Stanowiska są rozmieszczane w różnych, typowych dla badanych zlewni drzewostanach. Stacje Święty Krzyż, Roztocze i Szymbark mają po dwie powierzchnie testowe w różnych drzewostanach. Systemy pomiarowe opadu podkoronowego obejmują zwykle po kilkadziesiąt chwytaczy zlokalizowanych w węzłach siatki lub na planie krzyża (minimalna ilość chwytaczy – 2 w Kampinosie, maksymalna - po 20 na jednej powierzchni w Szymbarku). Próbkę pobierane są po dwutygodniowej lub miesięcznej ekspozycji (w Wigrach i Roztoczu są zbierane próbki tygodniowe). W terenie podczas poboru próbek wykonywany jest pomiar objętości zebranego opadu.

Program pomiarowy SPŁYW PO PNIACH C3

Program C3 jest realizowany przez 5 Stacji Bazowych (Biała Góra, Puszcza Borecka, Święty Krzyż, Roztocze i Szymbark), które na powierzchniach testowych posiadają znaczący udział drzewostanów liściastych. Stacje z przewagą drzewostanów iglastych (Storkowo, Konieczynka, Wigry) oraz Stacja bez powierzchni leśnych (Konieczynka) nie realizują tego programu. W Stacjach realizujących program C3 zbiera się próbki z od 3 do 9 wytypowanych drzew, charakterystycznych dla lokalnych drzewostanów. Próbkę są pobierane w cyklu tygodniowym lub miesięcznym.

Program pomiarowy METALE CIĘŻKIE I SIAKA W POROSTACH D1

Realizacja tego programu oparta jest na współpracy Stacji Bazowych z zespołem specjalistycznym prof. dr hab. 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 8 Stacjach Bazowych, gdzie porosty występują w sposób naturalny w środowisku zlewni (poza Koniczynką). Dla Stacji Koniczynka przeprowadzana jest natomiast ekspozycja zimowa i letnia porostów transplantowanych z Borów Tucholskich.

Program pomiarowy ROZTWORY GLEBOWE F1

W roku 2012 program pomiarowy F1 realizowało 8 Stacji Bazowych (poza Kampinosem), które wyposażone były w próbniki do poboru wód glebowych. Stacja Kampinos nie posiada dotychczas odpowiedniego wyposażenia w tym zakresie. Stacje stosowały zwykle próbniiki podciśnieniowe z końcówką teflonową (w Białej Górze próbniiki grawitacyjne). Pobór próbek wód glebowych był dokonywany na różnych typach gleb (charakterystycznych dla geoekosystemów zlewni), w różnych konfiguracjach przestrzennych i na zróżnicowanych głębokościach (zwykle 20-30, 50-60 i 80-100 cm), uzależnionych od typu gleb i warunków wilgotnościowych. W terenie w trakcie pomiarów mierzono objętości roztworów.

Program pomiarowy WODY PODZIEMNE F2

W roku hydrologicznym 2012 program pomiarowy ZMŚP 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 diver). Pobór próbek wody odbywa się z różną częstością od 1/tydzień do 1/kwartał.

Program pomiarowy CHEMIZM OPADU ORGANICZNEGO – G2

Wszystkie Stacje Bazowe poza Koniczynką (brak lasów w zlewni badawczej) realizowały program G2. Chwytnice 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 chwytnicy (od 3 do 30) o łącznej powierzchni od 0,7 do 1,7m². Próbki pobierano w cyklu miesięcznym.

Program pomiarowy WODY POWIERZCHNIOWE RZEKI H1

Program H1 realizowany był w roku 2012 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 2 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 2 stanowiskach pomiarowych położonych w górnym i dolnym odcinku tego samego cieku. W Roztoczu pomiary hydrometryczne prowadzono na rzece Świerszcz na 3 stanowiskach: Malowany Most, Wygoda I i Wygoda II. Część Stacji (Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka i Roztocze) wyposażała punkty hydrometryczne w automatyczne rejestratory stanu wody, co umożliwia obliczanie dla tych stanów przepływów. Pozostałe Stacje Bazowe w punktach

hydrometrycznych mają zainstalowane limnigrafy. Stacje pobierają próbki wody do badań chemizmu raz na tydzień lub raz na miesiąc.

Program pomiarowy WODY POWIERZCHNIOWE JEZIORA H2

Monitoring wód jeziornych jest prowadzony w tych Stacjach, gdzie występują zbiorniki jeziorne: Biała Góra – jez. Gardno, Storkowo – jez. Czarne i Puszcza Borecka – jez. Łękuk. Punkty pomiarowe są zlokalizowane w najgłębszych miejscach jezior. Biała Góra pobiera próbki wód podpowierzchniowych co miesiąc, a wód głębszych 4 razy w roku. W Storkowie próbki są pobierane 4 razy w roku z trzech głębokości: 1 m, 3 m i 5 m. W roku 2012 Puszcza Borecka pobierała próbki wód jeziornych 11 razy, z głębokości 1 m i z 11 m. Część parametrów (pH, tlen rozpuszczony, SEC, temperatura) jest mierzona bezpośrednio podczas pomiarów terenowych.

Program pomiarowy USZKODZENIA DRZEW I DRZEWOSTANÓW K1

W roku 2012 realizowano programu 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.

Program pomiarowy EPIFITY NADRZEWNE M1

Powierzchnie testowe do monitoringu porostów zostały założone we wszystkich Stacjach Bazowych. W 2012 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 8 do 10 powierzchni monitoringowych. Na każdej powierzchni wypełniana jest karta obserwacji gatunku, dla każdego taksonu osobno, w której zamieszcza się uwagi o: zdrowotności plech, rozmieszczeniu, liczebności i zdrowotności gatunków poza powierzchnią, ewentualnych zagrożeniach, maksymalnej długości plech danego gatunku. Następnie wykonuje się narysy plech na wcześniej przygotowanych przezroczystych foliach formatu A4. W Stacjach Bazowych wyznaczono do monitoringu po około 10 gatunków porostów.

Program pomiarowy FAUNA EPIGEICZNA O1

Stacje Bazowe realizują ten program przy pomocy zespołów specjalistów prof. Stanisława Huruka z Uniwersytetu w Kielcach. Udział Stacji sprowadza się do pobierania w sezonie wegetacyjnym (maj–październik) próbek z rozstawionych w lasach pułapek (pułapki Barbera) i segregacji zebranego materiału. Stacja Koniczynka z powodu braku powierzchni leśnych realizuje w zamian program specjalistyczny bezkręgową faunę glebową. W pozostałych Stacjach są wyznaczone powierzchnie monitoringowe (od 2 do 6), na których zainstalowano pułapki (od 3 do 5 na jednej powierzchni). W Stacji Roztocze program realizowano w oparciu

o zainstalowanych 10 pułapek ekranowych typu „Netocia”. 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 W ROKU 2012

Zakres pomiarowy ZMŚP realizowany w roku 2012 w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 3.

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

Tab. 3. Zakres pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe w roku 2012

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
A1	Meteorologia	Zakres podstawowy (14)		
		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 –	ustonecznienie	BG, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony		
		SC_WC	gęstość śniegu	BG, ST, SZ
		PRES	ciśnienie atmosferyczne	BG, ST, PB
Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
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		
		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	PB, KO, KA

Raport o stanie geoekosystemów Polski w roku 2012

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
C1	Chemizm opadów atmosferycznych	Zakres podstawowy (10)		
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		PH	odeczyn pH	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4^{2-}	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4^+	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3^-	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		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		
		AL	glin	PB, ŚK
		FE	żelazo	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	ST, PB, ŚK
		Zn	cynk	ST
		PTOT	fosfor ogólny	ST, PB, ŚK

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
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	odeczyn pH	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4^{2-}	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4^+	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3^-	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, RO, SZ
		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		
		AL	glin	PB, ŚK
		FE	żelazo	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	PB, ŚK
		PO4P	fosfor fosforanowy PO_4^{3-}	ŚK
		PTOT	ołów	PB

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
C3	Chemizm spływu po pniach	Zakres podstawowy (11)		
		RR_SF	wysokość	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		PH	odeczyn pH	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4^{2-}	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4^+	BG, PB, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3^-	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		
		AL	glin	PB, ŚK
		FE	żelazo	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	PB, ŚK
		PO4P	fosfor fosforanowy PO_4^{3-}	ŚK
		PTOT	ołów	PB

Raport o stanie geoeosystemów Polski w roku 2012

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
F1	Roztwory glebowe	Zakres podstawowy (12)		
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		PH	odczyt pH	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		HCO3	zasadowość	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO42-	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO3-	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH4+	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		CA	sód Na	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		MG	potas K	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		NA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		K	magnez Mg	BG, ST, PB, WI,, KO, ŚK, RO, SZ
		Zakres rozszerzony		
		FE	żelazo	ŚK
		MN	mangan	ŚK
		AL	glin	ŚK
		PO4P	fosfor fosforanowy PO ₄ ³⁻	ŚK

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
F2	Wody podziemne	Zakres podstawowy (16)		
		WL ₅ 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
		PII	odczyn pII	BG, ST, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		HICO3	zasadowość	BG, ST, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO ₄ ²⁻	BG, ST, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO ₃	BG, ST, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		NH4N	azot amonowy NH ₄ ⁺	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
		O2D	Rozpuszczony tlen	BG, ST, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		HZT5	HZT5	BG, ST, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI,, KO, KA, ŚK, RO, SZ

		Zakres rozszerzony		
		SIO2	krzemionka SiO ₂	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, KO

Raport o stanie geoekosystemów Polski w roku 2012

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
52	Chemizm opadu organicznego	Zakres podstawowy (10)		
		LDEP D	opad organiczny (masa sucha)	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		TOC	całkowity węgiel organiczny Corg	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		LDEP F	masa świeża	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		STOT	siarka ogólna Sogól	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		PTOT	fosfor ogólny	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		NTOT	azot ogólny Nogól	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		CA	wapń Ca	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		MG	magnez Mg	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		NA	sód Na	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		K	potas K	wszystkie Stacje (bez Koniczynki)
		Zakres rozszerzony		
		MN	mangan	Puszcza Borecka, Św. Krzyż
		CD	kadm	Puszcza Borecka, Św. Krzyż
		CU	miedź	Puszcza Borecka, Św. Krzyż
		MO	molibden	Puszcza Borecka, Św. Krzyż
		PB	ołów	Puszcza Borecka, Św. Krzyż
		ZN	cynk	Puszcza Borecka, Św. Krzyż

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
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
		WT.	stan wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
		PII	odczyn pII	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 NH ₄ ⁺	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 SO ₄ ²⁻	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 NO ₃	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
H1	Wody powierzchniowe rzeki	Zakres rozszerzony		
		FE	żelazo Fe	ST, PB
		SUS	zawiesina	ST
		MN	mangan Mn	ST, PB
		SiO2	krzemionka SiO ₂	ST, PB
		PO4P	fosfor fosforanowy PO ₄ ³⁻	ST, PB, KO, ŚK
		Al	glin	PB
		AS	arsen	PB
		CD	kadm	PB, ŚK
		CR	chrom	PB
		CU	miedź	PB, ŚK
		NI	nikiel	PB
		PB	ołów	PB
		ZN	cynk	PB
		DOC	węgiel org. rozp.	PB

Raport o stanie geoekosystemów Polski w roku 2012

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
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
		BZT5	biochemiczne zapotrzebowanie tlenu	BG, ST, PB
		O2D	tlon rozpuszczony	BG, ST, PB
		HCO3	zasadowość	BG, ST, PB
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB
		SO4S	siarka siarczanowa SO ₄ ²⁻	BG, ST, PB
		PTOT	fosfor ogólny P _{og}	BG, ST, PB
		NO3N	azot azotanowy NO ₃	BG, ST, PB
		NH4N	azot amonowy NH ₄ ⁺	BG, ST, PB

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
H2	Wody powierzchniowe jeziora	Zakres rozszerzony		
		SiO2	krzemionka SiO ₂	ST, PB
		PO4P	fosfor fosforanowy PO ₄ ³⁻	ST, PB
		FE	żelazo Fe	ST, PB
		MN	mangan Mn	ST, PB
		AL	glin	PB
		AS	arsen	PB
		CD	kadm	PB
		DOC	węgiel organiczny rozpuszczony	PB
		CU	miedź	PB
		PB	ołów	PB
		CR	chrom	PB
		ZN	cynk	PB
		NI	nikiel	PB

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
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

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Kod parametru	Nazwa parametru	Realizacja
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
		PIER_T	obwód pnia -podłoża	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO

Kod	Nazwa programu pomiarowego	Realizacja
E1	Gleby	RO
D1	Metale ciężkie i siarka w porostach	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
O1	Fauna epigeiczna	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, RO, SZ
J1	Struktura i dynamika szaty roślinnej	ST

Ilość pobranych próbek, zaplecze laboratoryjne Stacji Bazowych

Przybliżona łączna liczba próbek wód pobranych w Stacjach Bazowych w roku 2012 wyniosła:

- opad atmosferyczny: 1200,
- opad podokapowy 450,
- spływ po pniach 230,
- roztwory glebowe 270,
- wody podziemne 270,
- wody rzeczne 1050,
- wody jeziorne 80.

Tab. 4. Analityka laboratoryjna Stacji Bazowych ZMSP w roku 2012 w zakresie analiz powietrza i wody

Program pomiarowy	Biata Góra	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampanios	Święty Krzyż	Roztocze	Szymbark
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, PIŁG	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, PIŁG	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne
Wody podziemne F2	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	WIOŚ Suwałki	własne WIOŚ IOŚ, PIŁG	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne + WIOŚ Kraków
Wody powierzchniowe-rzeki H1	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	WIOŚ Suwałki	własne WIOŚ IOŚ, PIŁG	własne, LMŚ IOŚ	własne	własne	własne + WIOŚ Kraków
Wody powierzchniowe – jeziora H2	własne + Storkowo	własne	własne + LMŚ IOŚ	---	---	---	---		---

Dla kontroli jakości uzyskiwanych wyników pomiarów i analiz chemicznych Stacje Bazowe w roku 2012 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. 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.

7. 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). Geowskaźniki zaproponowane przez IUNG dotyczyły przede wszystkim wskaźników geologicznych, które mają również zastosowanie do oceny środowiska abiotycznego. Listę 27 geoindykatorów wg IUNG można uznać za punkt wyjścia do przyjęcia geoindykatorów mogących znaleźć zastosowanie w raportach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W tym opracowaniu wykorzystano kilka geowskaźników, które zastosował w syntetycznych raportach ZMŚP Szpikowski (2011, 2012). Geowskaźniki przedstawione w opracowaniu dotyczą ilościowych i jakościowych właściwości obiegu wody w zlewniach monitoringowych, które stanowią główny czynnik zmian środowiska przyrodniczego w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej.

Realizowane w ramach monitoringu zintegrowanego programy badawcze w zlewniach ZMŚP wykazują prawidłowość, iż obieg wody posiada największe znaczenie dla funkcjonowania środowiska geograficznego geoekosystemów Polski. Obieg wody jest głównym elementem decydującym o przemianach środowiska przyrodniczego w badanych zlewniach, niezależnie od położenia w strukturze krajobrazowej Polski. Szczególnie istotne dla oceny zarówno abiotycznej jak i biotycznej sfery środowiska przyrodniczego jest określenie ilości wody krążącej w geoekosystemie wraz ze wskazaniem dynamiki jej obiegu (rozkład czasowy opadów i odpływu rzeczno, występowanie susz, nasilonych opadów rozlewnych i nawałnych) oraz przedstawienie długookresowych trendów dostawy wody do geoekosystemów. Dostawa wody do badanych geoekosystemów jest regionalnie zróżnicowana i nawiązuje do położenia poszczególnych zlewni w krainach fizycznogeograficznych Polski. Podstawowe znaczenie mają warunki termiczne i opadowe, które decydują m.in. o klimatycznym bilansie wodnym, czyli różnicy pomiędzy opadem i parowaniem terenowym. Od klimatycznego bilansu wodnego (różnicy pomiędzy opadami i parowaniem) zależy np. wielkość zasilania i odnawiania zasobów wód podziemnych, odpływ ze zlewni oraz funkcjonowanie świata roślinnego i zwierzęcego (Bac i in. 1993).

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 wprowadza podział na 7 klas opadowych

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

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

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

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 procentowej wielkości opadu w danym roku w stosunku do wartości odchylenia standardowego średniej rocznej temperatury powietrza z wielolecia – progów, (tab. 6). Dla temperatury powietrza zastosowano podział na klasy oparte o 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	$tz > T + 2,5\sigma$
2	anomalnie ciepły	$T + 2,0\sigma < tz \leq T + 2,5\sigma$
3	bardzo ciepły	$T + 1,5\sigma < tz \leq T + 2,0\sigma$
4	ciepły	$T + 1,0\sigma < tz \leq T + 1,5\sigma$
5	lekko ciepły	$T + 0,5\sigma < tz \leq T + 1,0\sigma$
6	normalny	$T - 0,5\sigma \leq tz \leq T + 0,5\sigma$
7	lekko chłodny	$T - 1,0\sigma \leq tz < T - 0,5\sigma$
8	chłodny	$T - 1,5\sigma \leq tz < T - 1,0\sigma$
9	bardzo chłodny	$T - 2,0\sigma \leq tz < T - 1,5\sigma$
10	anomalnie chłodny	$T - 2,5\sigma \leq tz < T - 2,0\sigma$
11	ekstremalnie chłodny	$tz < T - 2,5\sigma$

Warunki termiczne, których odzwierciedleniem jest średnia roczna temperatura powietrza dla Stacji Bazowych są zróżnicowane i determinowane ich położeniem w regionie klimatycznym Polski. O zmienności regionalnej warunków termicznych świadczyć może spadek średniej temperatury powietrza w Polsce północnej, z zachodu na wschód (Biała Góra -Storkowo - Puszcza Borecka - Wigry) od wartości 8,9°C w Białej Górze do 7,1°C w Wigrach (2009-2012). Równocześnie zauważalny jest wzrost kontynentalizmu klimatu w zakresie kontrastów termicznych. 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). Największa zmienność średniej rocznej temperatury powietrza występuje w centralnej części Polski (odchylenie standardowe w Kampinosie wynosi $1,2^\circ\text{C}$, a w Koniczynce i na Świętym Krzyżu $0,9^\circ\text{C}$). W Kampinosie stwierdzono największą amplitudę $4,3^\circ\text{C}$ oraz współczynnik zmienności $15,5\%$. Ujemna skośność rozkładu temperatury w Stacjach Bazowych świadczy o lewostronnej asymetrii i niższych wartościach średnich niż mediany czy wartości modalnej (tab. 7).

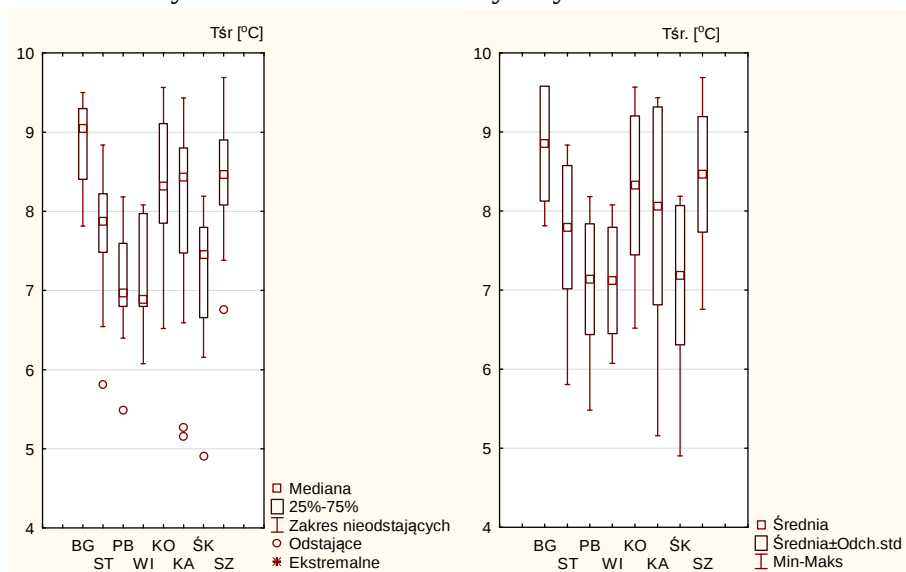
Tab. 7. Statystyki opisowe średniej rocznej temperatury powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP. 1995-2012 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2012(Święty Krzyż), 2002-2012 (Wigry), 2009-2012 (Biała Góra).

Stacja Bazowa	Średnia	Ułność -95%	Ułność 95%	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górný kwartyl	Percentyl 10	Percentyl 90	Rozstęp	Wariancja	Odch.std	Wsp.zmn	Skośność	Kurtoza
Biała Góra	8,9	7,7	10,0	9,0	7,8	9,5	8,4	9,3	7,8	9,5	1,7	0,5	0,7	8,2	-1,5	2,7
Storkowo	7,8	7,4	8,2	7,9	5,8	8,8	7,5	8,2	6,5	8,8	3,0	0,6	0,8	10,0	-0,9	1,3
Puszcza B.	7,1	6,8	7,5	7,0	5,5	8,2	6,8	7,6	6,4	8,1	2,7	0,5	0,7	9,8	-0,3	0,3
Wigry	7,1	6,7	7,6	6,9	6,1	8,1	6,8	8,0	6,3	8,0	2,0	0,5	0,7	9,4	0,2	-1,0
Koniczynka	8,3	7,9	8,8	8,3	6,5	9,6	7,8	9,1	6,8	9,4	3,0	0,8	0,9	10,6	-0,5	-0,3
Kampinos	8,1	7,4	8,7	8,4	5,2	9,4	7,5	8,8	5,3	9,4	4,3	1,6	1,2	15,5	-1,4	1,4
Święty Krzyż	7,2	6,7	7,7	7,5	4,9	8,2	6,7	7,8	6,2	8,0	3,3	0,8	0,9	12,2	-1,5	2,4
Szymbark	8,5	8,1	8,8	8,5	6,8	9,7	8,1	8,9	7,4	9,4	2,9	0,5	0,7	8,6	-0,5	0,5

Na rycinie 9 przedstawiono zmienność przestrzenną temperatury powietrza w badanych geoekosystemach, m. in. przedstawiono ilość i wartości przypadków odstających od normy (wartości punktu danych $>Q3+1,5H$ i $<Q1-1,5H$, gdzie $H=Q3-Q1$) i ekstremalnych (wartości punktu danych $>Q3+3H$ i $<Q1-3H$, gdzie $H=Q3-Q1$). Przypadki odstające notowane były jedynie dla niskich średnich rocznych temperatur (np. w Kampinosie lata 1995 ($6,2^\circ\text{C}$) i 1996 ($5,2^\circ\text{C}$). Przypadków odstających nie stwierdzono w Koniczynce, a ekstremalnych termicznie lat nie stwierdzono na żadnej Stacji ZMŚP.

Klasyfikacja termiczna (ryc. 10) podkreśla znaczną zmienność czasową i przestrzenną średniej rocznej temperatury powietrza. Znaczne różnice termiczne kolejnych lat stwierdzone na Stacjach Bazowych są konsekwencją przejściowego klimatu Polski. Lata 1996-1998 praktycznie we wszystkich Stacjach Bazowych zakwalifikowano jako chłodniejsze od normy. Z kolei z kumulacją lat ciepłych wystąpiła zwłaszcza w okresie 2006-2008. Ostatnie dwa lata obserwacji (2011-2012) świadczą raczej o stabilizacji (Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry) lub nieznacznym wzroście (Koniczynka, Święty Krzyż i Szymbark) warunków termicznych. Rok 2012 w 4 Stacjach Bazowych był rokiem lekko ciepłym a w 3 normalnym (strefa młodogłacjalna Niżu Polskiego). Należy dodać, iż Stacje Bazowe w Białej Górze zaledwie 4. letnim okresem obserwacji meteorologicznych oraz działająca od 2012 roku Stacja Roztocze nie mogą dokonać takiego zestawienia ze względu na krótki okres pomiarowy. Prezentowana klasyfikacja termiczna nie umożliwia wykazuje trendu zmian dla Stacji

Bazowych. Potwierdza natomiast zmienność temperatury powietrza w kolejnych latach, co jest zjawiskiem normalnym dla warunków klimatycznych Polski.



Ryc. 9. Warunki termiczne w Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie średnich rocznych temperatur powietrza w Stacjach Bazowych ZMŚP. 1995-2012 (Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Szymbark), 1999-2012(Świąty Krzyż), 2002-2012 (Wigry), 2009-2012 (Biała Góra).

	Rok	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYŻ	SZYMBARK	
	1994								
	1995								
	1996								
	1997								
	1998								
	1999								
	2000								
	2001								
	2002								
	2003								
	2004								
	2005								
	2006								
	2007								
	2008								
	2009								
	2010								
	2011								
	2012								
anomalnie ciepły	bardzo ciepły	ciepły	lekko ciepły	normalny	lekko chłodny	chłodny	bardzo chłodny	anomalnie chłodny	ekstremalnie chłodny

Ryc. 10. Klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP (wg Lorenc 1998)

Średnia roczna suma opadów w Polsce północnej maleje z zachodu na wschód, od Storkowa Storkowo 684 mm, przez Puszcę Borecką 642 mm, po Wigry 573 mm (2002-2012), co jest efektem rosnącego kontynentalizmu klimatu. Zmniejszanie się ilości opadów

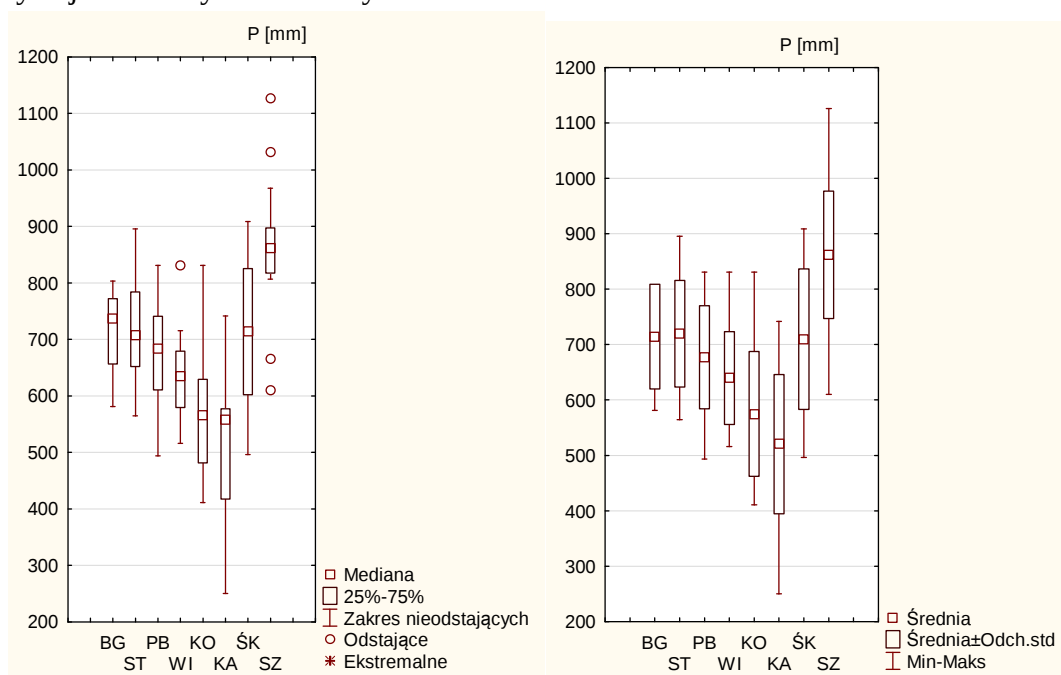
zachodzi również w transekcie południkowym niżowej części Polski, od Storkowa (720 mm) do Koniczynki (575 mm) i Kampinosu (521 mm), (1994-2012). W Stacjach Bazowych położonych dalej na południe wyższe opady są efektem ich lokalizacji na obszarach górskich (Święty Krzyż 720 mm i Szymbark 862 mm).

Statystyki opisowe rocznej sumy opadów w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawiono w tabeli 8. Największa zmienność opadów występuje w centralnej części Polski (odchylenie standardowe w Kampinosie i na Świętym Krzyżu wynosi 126 mm). Największą amplitudę rocznej sumy opadów stwierdzono w regionach górskich, zwłaszcza w Szymbarku (516 mm).

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

Stacja Bazowa	Srednia	Ułność -95%	Ułność 95%	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl	Percentyl 10	Percentyl 90	Rozstęp	Wariancja	Odch.std	Wsp.zmn	Skośność	Kurtoza
Biała Góra	714,4	564,5	864,4	736,4	581,4	803,5	656,7	772,2	581,4	803,5	222,1	8878,8	94,2	13,2	-1,3	2,4
Storkowo	719,7	671,9	767,5	706,9	564,8	895,7	652,0	784,1	592,1	868,7	330,9	9227,6	96,1	13,3	0,3	-0,6
Puszcza B.	677,3	631,1	723,5	684,2	493,7	831,0	611,0	741,2	561,1	827,2	337,4	8634,4	92,9	13,7	-0,2	-0,5
Wigry	639,6	583,4	695,8	635,2	515,8	831,0	579,6	679,4	577,4	715,2	315,2	6997,5	83,7	13,1	1,0	2,0
Koniczynka	574,9	518,8	631,0	565,9	411,1	831,0	481,7	629,0	436,5	766,3	419,9	12724,9	112,8	19,6	0,8	0,3
Kampinos	520,7	458,2	583,2	558,1	250,2	741,7	417,7	577,5	357,7	693,3	491,5	15790,6	125,7	24,1	-0,4	-0,1
Święty Krzyż	710,0	636,8	783,2	713,9	496,4	908,9	602,2	825,4	546,8	849,8	412,5	16061,6	126,7	17,8	-0,1	-1,1
Szymbark	861,8	804,5	919,0	861,9	610,4	1126,1	817,5	897,3	666,0	1031,3	515,7	13246,3	115,1	13,4	0,0	1,8

Na rycinie 11 przedstawiono zmienność przestrzenną opadów atmosferycznych w badanych zlewniach. Warto zaznaczyć, że przypadki odstające odnotowano jedynie w 2 Stacjach: Wigry (1 rok) a zwłaszcza Szymbark (4 lata). Szymbark cechuje się występowaniem lat odstających o wartościach opadów atmosferycznych zarówno znacznie wyższych jak i niższych od normy.



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

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność warunków opadowych we wszystkich Stacjach Bazowych (ryc. 12). Szczególnie suchy okres przypadł na lata 2000-2006 (poza Wigrami). Lata 2003 i 2006 zadecydowały o największym niedoborze opadów.

Ostatnie lata pomiarowe (2007-11) zapisały się jako okres o opadach atmosferycznych normalnych bądź podwyższonych, co stanowić mogło o odbudowie zasobów wodnych w zlewniach badawczych. Rok 2012 była bardzo zróżnicowany pod względem opadowym. W Stacjach na południu Polski (Święty Krzyż i Szymbark) był rokiem suchym, w Puszczy Boreckiej i Kampinosie wilgotnym a w pozostałych normalnym (ryc. 12).

Rok	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYŻ	SZYMBARK
1994							
1995							
1996							
1997							
1998							
1999							
2000							
2001							
2002							
2003							
2004							
2005							
2006							
2007							
2008							
2009							
2010							
2011							
2012							
	skrajnie suchy	bardzo suchy	suchy	normalny	wilgotny	bardzo wilgotny	skrajnie wilgotny

Ryc. 12. Klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP (wg Kaczorowskiej 1962)

Relacja temperatur powietrza do sum opadów w poszczególnych Stacjach Bazowych wskazuje na niekorzystne zjawisko, które związane jest z niedoborem wody w zlewniach położonych w centralnej części Polski – Kanału Olszowieckiego w Kampinosie i Strugi Toruńskiej w Koniczynie. W przypadku Koniczyny i Kampinosu najwyższe temperatury powietrza (ryc. 10) przypadają na najniższe sumy opadów atmosferycznych (ryc. 12), w efekcie czego klimatyczny bilans wodny dla tych geoekosystemów jest bardzo niekorzystny. Średnia wieloletnia wartość klimatycznego bilansu wodnego wynosi dla Kampinosu około – 140 mm, a dla porównania w Szymbarku ponad +100 mm (Szpikowski 2012 za Bac i in. 1993).

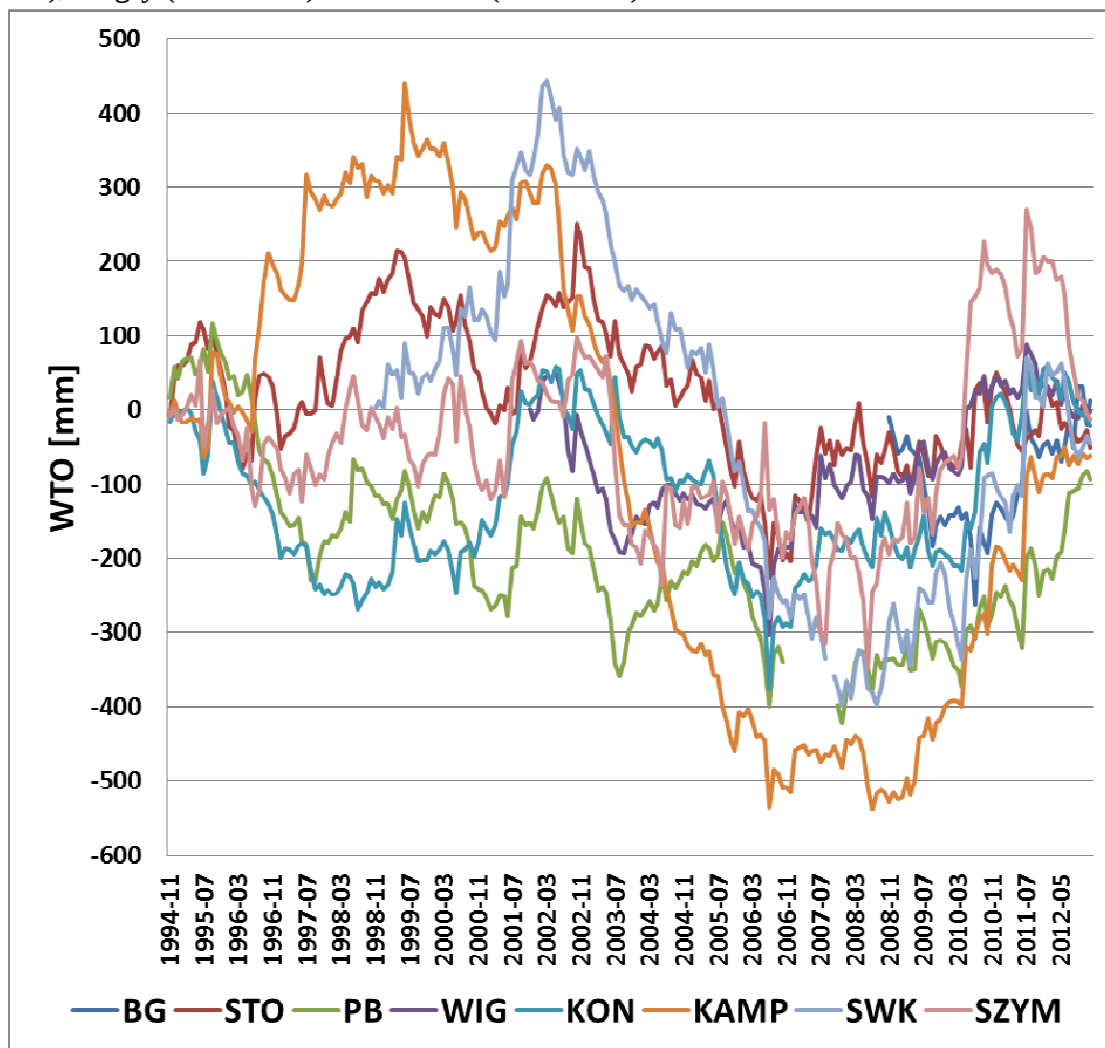
Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) – Wskaźnik ten został opracowany w Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie (Szpikowski 2006) i analizowany w raportach za 2010 i 2011 rok (Szpikowski 2011, 2012). Wskaźnik tendencji opadowych oparty jest na różnicach pomiędzy sumą opadu w kolejnym miesiącu, a średnią sumą opadu 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 maja 2012 minus średnia suma opadu dla maja z wielolecia 1994-2012),
- 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 tendencja do obniżania się lub wzrostu wartości WTO (Szpikowski 2012).

Przebieg wartości wskaźnika tendencji opadowych dla Stacji Bazowych z lat 1994-2012 przedstawiono na rycinie 13. Metodyka obliczania WTO pozwala na porównania między sobą tylko tych Stacji Bazowych które mają takie same okresy pomiarowe (Szpikowski 2012). Jednakże dla poglądowego ukazania pewnych tendencji na wykresie umieszczono również Stacje ZMŚP o krótszych seriach pomiarowych – Święty Krzyż (od 1999 r.), Wigry (od 2002 r.) i Biała Góra (od 2009 r.).



Ryc. 13. Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) dla Stacji Bazowych ZMŚP w latach 1994-2012

Najbardziej podobny przebieg wskaźnika tendencji opadowych występuje w północnej Polsce, w Stacjach w Storkowie i Puszczy Boreckiej oraz w Koniczynie. Położenie powyższych Stacji Bazowych w młodoglacjalnej części Niżu Polskiego wpływa na zbliżone tendencji w wartościach i zmienności czasowej WTO. Dla wymienionych Stacji wskaźnik WTO charakteryzuje się bardzo zmiennym w czasie przebiegiem o charakterze sinusoidalnym, czego dobrym przykładem jest dynamika czasowe WTO w Storkowie. Dla Storkowa maksima wartości wskaźnika wystąpiły głównie w latach 1999 i 2002, 2008 a minima w latach 1996 i 2006. Stwierdzić można zatem występowanie około 4. letniej zmienności WTO. Ilościowy 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 roku 1997, a później w okresie 2005-2006 badania obserwowano zanik wody w płytkich i małych zbiornikach bezodpływowych (Major 2009). W ostatnim okresie nastąpiła poprawa funkcji hydrologicznych w oczkach wodnych przy znacznym udziale odnowy zasobów wodnych pochodzących z pokrywy śnieżnej w sezonach zimowych 2008/2009 i 2009/2010 (Szpikowski 2012). Przebieg wartości wskaźnika WTO dla Koniczynki, Puszczy Boreckiej i Szymbarku wykazuje podobne tendencje zmienności czasowej jak w Storkowie.

Natomiast w Kampinosie przebieg wskaźnika WTO posiada dłuższy cykl zmienności – około 7 letni. Dla Kampinosu nadwyżka wody występowała w latach 1996-2003 a deficyt wody obserwowany jest od 2005 roku. Inny od pozostałych Stacji Bazowych w Kampinosie przebieg WTO można interpretować zależnością od lokalnych warunków opadowych. W 2012 roku podtrzymały trend odbudowy zasobów wodnych w zlewniach ZMŚP, gdzie wskaźnik WTO chociaż nadal jest ujemny ale wykazuje tendencję wzrostową poprawy zasobów wodnych. Zmienność czasowa opadów na Stacjach Bazowych ukazuje duży udział pokrywy śnieżnej w ostatnich trzech latach w odnawianiu zasobów wodnych, co potwierdza prawidłowości, że o retencji wodnej decydują opady półrocza zimowego związane z zasilaniem śnieżnym. Ze względu na znaczną ewapotranspirację występujące w półroczu letnim bardziej wydajne opady nie poprawiają zasobów wodnych w zlewniach.

6. WYBRANE GEOWSKAŹNIKI JAKOŚCIOWE OBIEGU WODY W GEOEKOSYSTEMACH ZMŚP

Przedstawione poniżej geowskaźniki zostały zaproponowane w syntezach raportów ZMŚP przez Szpikowskiego (2011,2012) a w niniejszym opracowaniu wyznaczone zostały na podstawie raportów Stacji Bazowych ZMŚP za rok 2012 (Jóźwiak i inni 2013, Kejna i inni 2013, Bochenek, Kijowska, Kiszka 2013, Kostrzewski i in. 2013, Krzysztofiak i inni 2013, Olszewski i inni 2013, Śnieżek i inni 2013). W opracowaniu wykorzystano również dane pomiarowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych programu ZMŚP.

W określeniu prawidłowości funkcjonowania badanych geoekosystemów ZMŚP szczególnie 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 zewnętrznych (spoza

zlewni), które kształtować mogą dynamikę krążenia substancji rozpuszczonych w zlewniach badawczych ZMŚP. Z kolei analiza stężeń i ładunków substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych w badanych zlewniach ZMŚP umożliwia na określenie ich wpływu (poprzez transport fluwalny) na kształtowanie chemizmu wód powierzchniowych w geoekosystemach zewnętrznych (poza zlewniami ZMŚP). Analiza atmosferycznej dostawy ładunków substancji rozpuszczonych i ich odprowadzania rzeczno pozwala na określenie obiegu materii w zlewniach ZMŚP – bilansu denudacyjnego.

Wskaźniki jakości opadów atmosferycznych

Opady atmosferyczne charakteryzują się zazwyczaj niską mineralizacją i obniżonym odczynem. Ich skład chemiczny kształtowany jest m.in. przez jakość powietrza atmosferycznego. W zlewniach badawczych ZMŚP obserwowane jest wyraźne zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych opadów atmosferycznych, które związane jest ze zróżnicowanym czasowo i przestrzennie oddziaływaniem czynników naturalnych i antropogenicznych.

Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych – Wskaźnik ten został zastosowany w raportach ze Stacji Bazowej Storkowo (Michalska 2000) na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej (Jansen i in. 1988). Ze względu na swą przydatność do oceny podstawowych cech jakościowych opadów atmosferycznych (odczynu i przewodności elektrolitycznej) został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ukazuje zróżnicowanie jakościowe wód opadowych (trendy) w różnych geoekosystemach Polski. W zakresie przewodności elektrolitycznej wskaźnik wprowadza zróżnicowanie na 6 klas jakościowych (tab. 9). W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych wprowadza 5 klas jakościowych (tab. 10), (Szpikowski 2012).

Tab. 9. Klasyfikacja wód opadowych pod względem wartości przewodności elektrolitycznej SEC (wg Jansena i in. 1988)

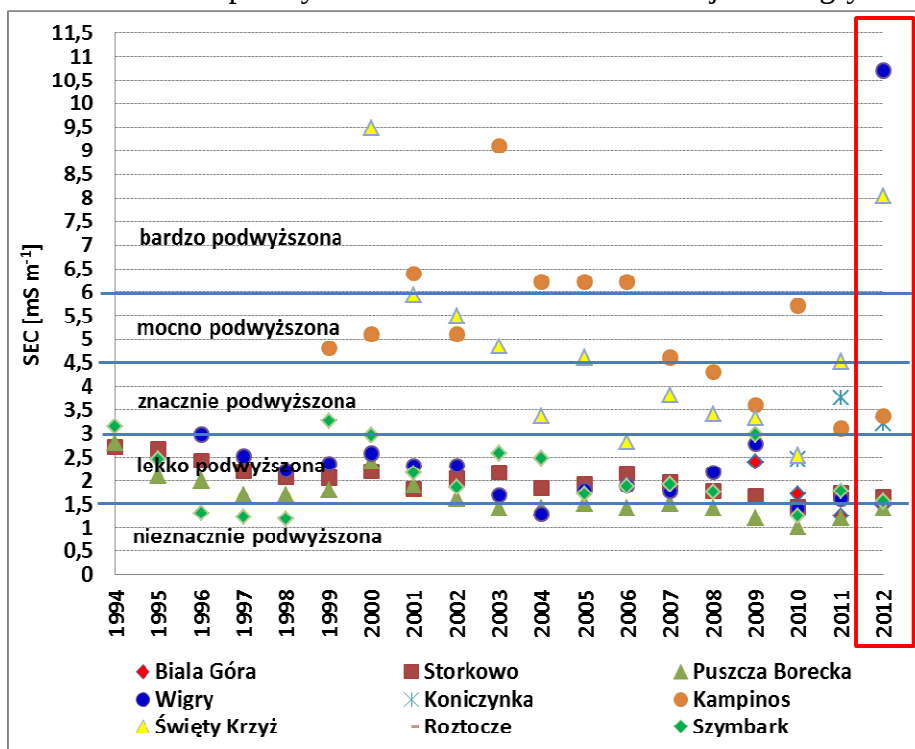
średnia roczna ważona przewodność elektrolityczna SEC [mS m^{-1}]	klasa przewodności wód opadowych
SEC $\leq$ 1,5	nieznaczna
1,5 < SEC $\leq$ 3,0	lekko podwyższona
3,0 < SEC $\leq$ 4,5	znacznie podwyższona
4,5 < SEC $\leq$ 6,0	mocno podwyższona
6,0 < SEC $\leq$ 10,0	silnie podwyższona
SEC > 10,0	bardzo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

Tab. 10. Klasyfikacja wód opadowych pod względem wartości odczynu pH (wg Jansena i in. 1988)

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

Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów pokazuje, że w roku hydrologicznym 2012 jakość opadów atmosferycznych wyrażona średnią ważoną przewodnością elektrolityczną (ryc. 14) charakteryzowała się następującymi właściwościami:

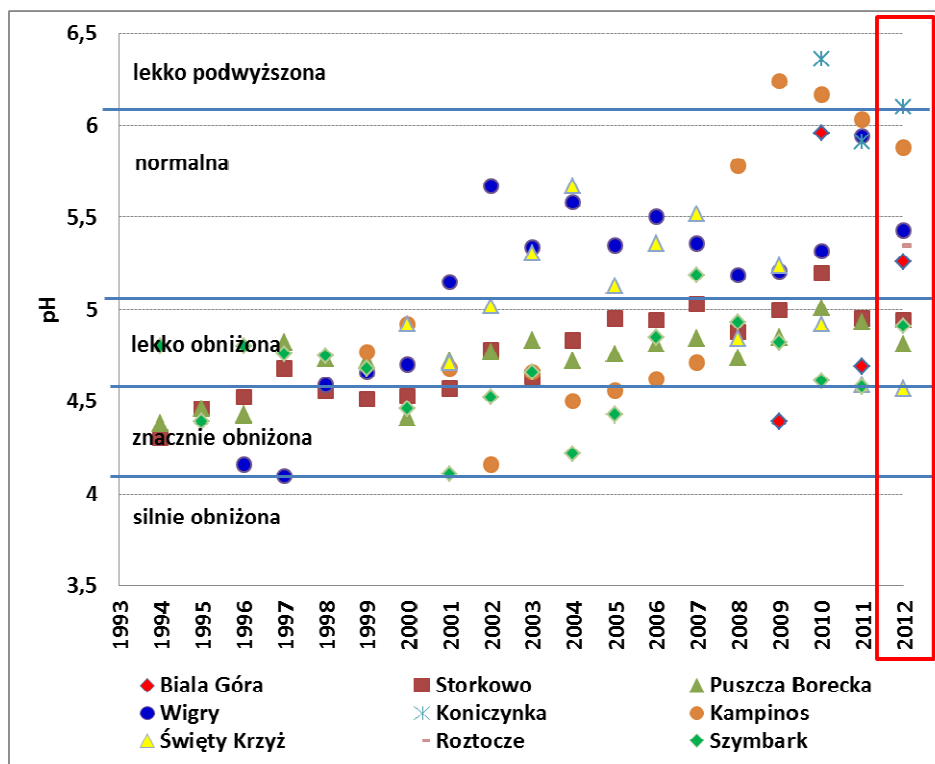
- przewodność nieznaczna – stwierdzono w 2 Stacjach: Białej Górze i Puszczy Boreckiej,
- przewodność lekko podwyższona – stwierdzono w 3 Stacjach Bazowych: Storkowo, Roztocze i Szymbark,
- przewodność znacznie podwyższona – stwierdzono w 2 Stacjach: Koniczynka i Kampinos,
- przewodność bardzo podwyższona – stwierdzono w 2 Stacjach: Wigry i Święty Krzyż.



Ryc. 14. Zmiany klasyfikacji SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w roku hydrologicznym 2012 na tle wielolecia (wg klasyfikacji Jansena i in. 1988)

Zakwaszenie wód opadowych w roku hydrologicznym 2012 w poszczególnych Stacjach wyrażają wartości pH, które należy zaliczyć do klasy (ryc. 15):

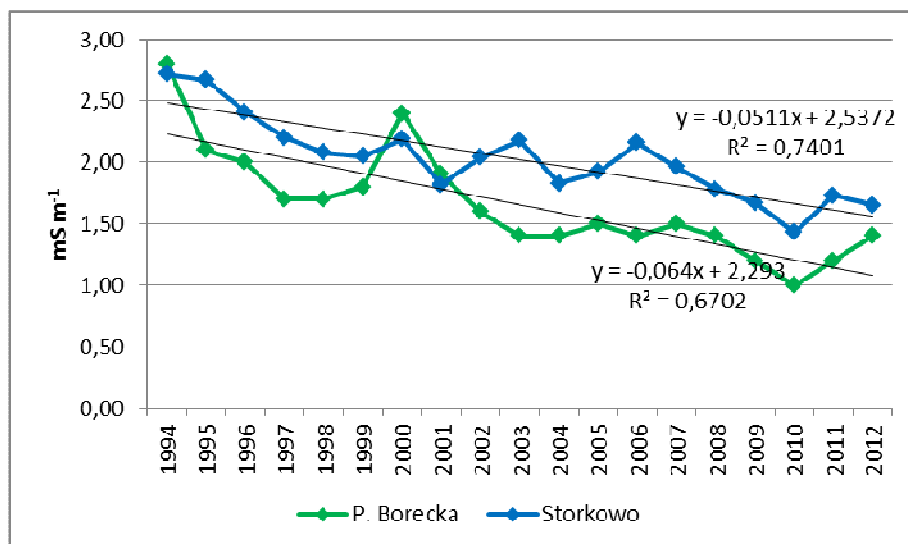
- pH znacznie obniżone – stwierdzono w 1 Stacji: Święty Krzyż,
- pH lekko obniżone – stwierdzono w 3 Stacjach: Storkowo, Puszcza Borecka i Szymbark,
- pH normalne – stwierdzono w 5 Stacjach: Biała Góra, Wigry, Koniczynka, Kampinos i Roztocze.



Ryc. 15. Zmiany kwasowości [pH] opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w roku hydrologicznym 2012 na tle wielolecia (wg klasyfikacji Jansena i inn. 1988)

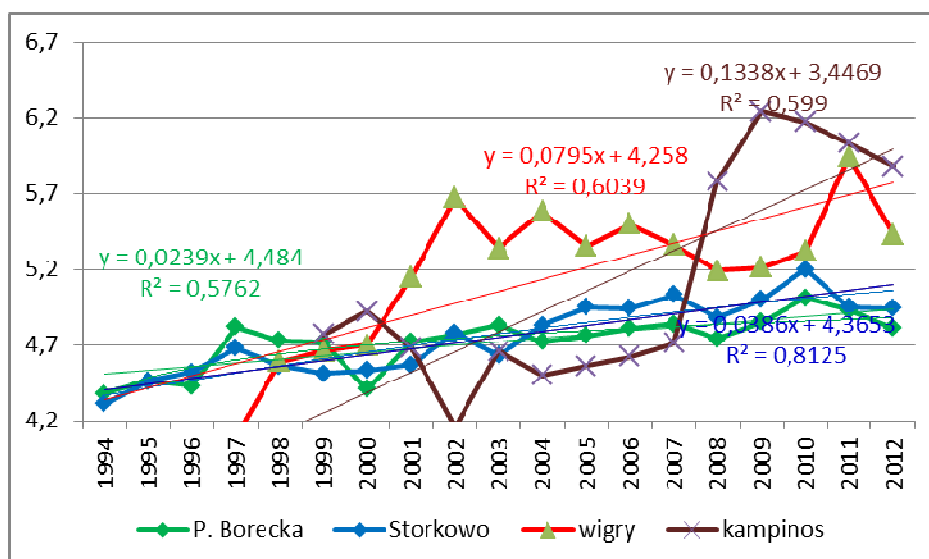
Jakość opadów atmosferycznych w 2012 roku na tle wielolecia przedstawiono na rycinach 16 i 17. Ukazują one wieloletnie tendencje zmiany jakości opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych.

Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej generalnie wskazuje na korzystny trend obniżania się zawartości składników rozpuszczonych w wodach opadowych dla większości Stacji Bazowych - oprócz Stacji Wigry i Koniczynka. Jednakże istotny statystycznie trend odnotowano jedynie dla Storkowa i Puszczy Boreckiej (ryc. 16), które posiadają najdłuższe serie pomiarowe. Trend 10. letni spadku SEC wynosi 0,5 mS/m w Storkowie i 0,6 mS/m w Puszczy Boreckiej. W stacji Szymbark, która dysponuje również długim okresem pomiarowym trend liniowy jest nieistotny statystycznie ze względu na znaczne fluktuacje zawartości składników rozpuszczonych w wodach opadowych w wieloleciu 1994-2012. W 2012 roku w odniesieniu do poprzedniego roku odnotowano wzrost sumarycznej ilości składników rozpuszczonych w wodach opadowych, jednakże dobre (o nieznacznie i lekko podwyższonej przewodności) opady występowały w 5 badanych geoekosystemach. Warto zauważyć bardzo wysoką wartość średniej rocznej ważonej SEC w Wigrach (10,7 mS/m) i na Świętym Krzyżu (8,0 mS/m).



Ryc. 16. Istotne statystycznie trendy spadku SEC w opadach atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo i Puszcza Borecka

Zmienność czasowa odczynu wód opadowych wykazuje korzystną prawidłowość zwiększania wartości pH w Stacjach Bazowych ZMŚP, z wyjątkiem Stacji Święty Krzyż dla której odnotowano obniżanie pH i wzrost kwasowości opadów. Istotny statystycznie trend poprawy jakości odczynu opadów odnotowano dla Storkowa, Puszczy Boreckiej, Wigier i Kampinosu (ryc. 17). Trend 10. letni spadku kwasowości wynosi 0,37 pH dla Storkowa i 0,21 pH dla Puszczy Boreckiej, 0,76 pH dla Wigier i aż 1,29 pH dla Kampinosu. W 2012 roku w porównaniu z rokiem 2011 odnotowano bardzo dużą zmienność przestrzenną kwasowości opadów w badanych geosystemach, jednakże bardzo dobre opady o normalnym odczynie stwierdzono w 5 badanych zlewniach. Najgorszym odczynem i największym zanieczyszczeniem odznaczały się opady na Świętym Krzyżu, które zakwalifikowano jako znacznie obniżone o pH 4,57.



Ryc. 17. Istotne statystycznie trendy wzrostu pH (spadku kwasowości) opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP – Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry i Kampinos.

W Stacjach Storkowo, Puszcza Borecka i Wigry (ryc. 17) odczyn opadów z poziomu charakterystycznego dla wód znacznie zakwaszonych występował utrzymywał się do lat 90.

XX w. W XXI wieku wzrósł do poziomu zbliżonego lub charakterystycznego dla klasy o odczynie normalnym. Największy progres poprawy opadów odnotowano w Stacji Kampinos, na co m. in. wpłynęła poprawa jakości powietrza atmosferycznego w aglomeracji warszawskiej. Natomiast praktycznie brak jednoznacznej zmiany wartości pH wód opadowych można natomiast stwierdzić w przypadku Stacji Szymbark, a dla Stacji Święty Krzyż zauważalna jest tendencja do obniżania odczynu opadów i pogorszenia ich jakości (ryc. 15).

Wskaźnik pH opadów atmosferycznych – został zaproponowany przez Szpikowskiego do opracowań sporządzanych w Stacji Bazowej w Storkowie w roku 2007 (Kostrzewski i inni 2007). Do obliczenia tego wskaźnika konieczne jest obliczenie częstości występowania opadów o określonym pH w danym roku (okresie) pomiarowym. Zgodnie z klasyfikacją Jansena i in. (1988) oraz w nawiązaniu do metodyk ZMŚP (Śniezek 2001) wyróżnia się opady o różnych klasach odczynu (tab. 10). Zasadnicze znaczenie ma przy ocenie jakości opadów atmosferycznych ich zakwaszenie, które doprowadza do negatywnych przemian w środowisku glebowym oraz roślinnym i zwierzęcym. Wskaźnik pH opadów atmosferycznych (WpH) przedstawia się dla danego okresu pomiarowego (roku) jako stosunek udziału opadów o pH silnie obniżonym do udziału opadów o pH normalnym. Mniejsza wartość liczbową wskaźnika wskazuje na pozytywną zmianę i większy udział opadów czystych i nie zanieczyszczonych (Szpikowski 2012).

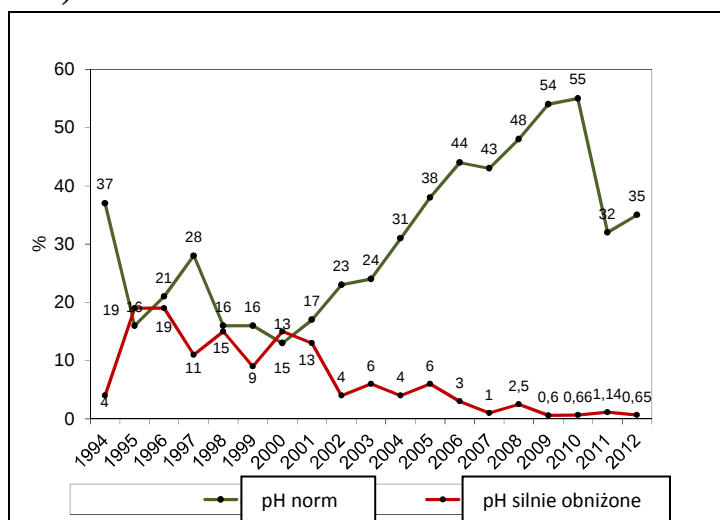
$$WpH = F P(pH < 4,1) / F P(pH 5,1-6,1)$$

WpH – wskaźnik pH opadów atmosferycznych [-]

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

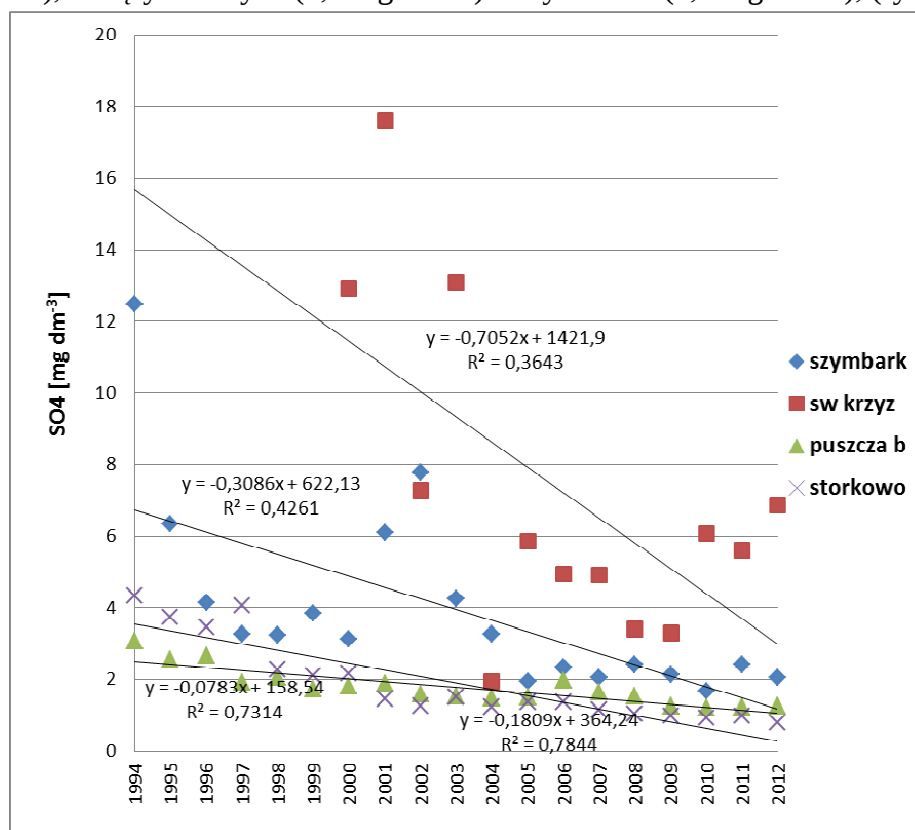
F P(pH 5,1-6,1) – frekwencja (roczna) opadów o pH normalnym [%]

Analiza wskaźnika pH dobrze oddaje poprawę jakości wód opadowych w kolejnych latach funkcjonowania programu ZMŚP na Stacjach Bazowych. Ogólny trend zmniejszania zakwaszenia wód opadowych i zawartości składników rozpuszczonych jest m. in. przejawem polepszającej się jakości powietrza. W wyniku poprawy jakości powietrza, np. w Storkowie coraz rzadziej pojawiają się opady o silnym zakwaszeniu o silnie obniżonym odczynie poniżej 4,1 pH (ryc. 18).



Ryc. 18. Udział opadów o pH normalnym i silnie obniżonym w Storkowie w wieloletnim okresie hydrologicznym 1994-2012

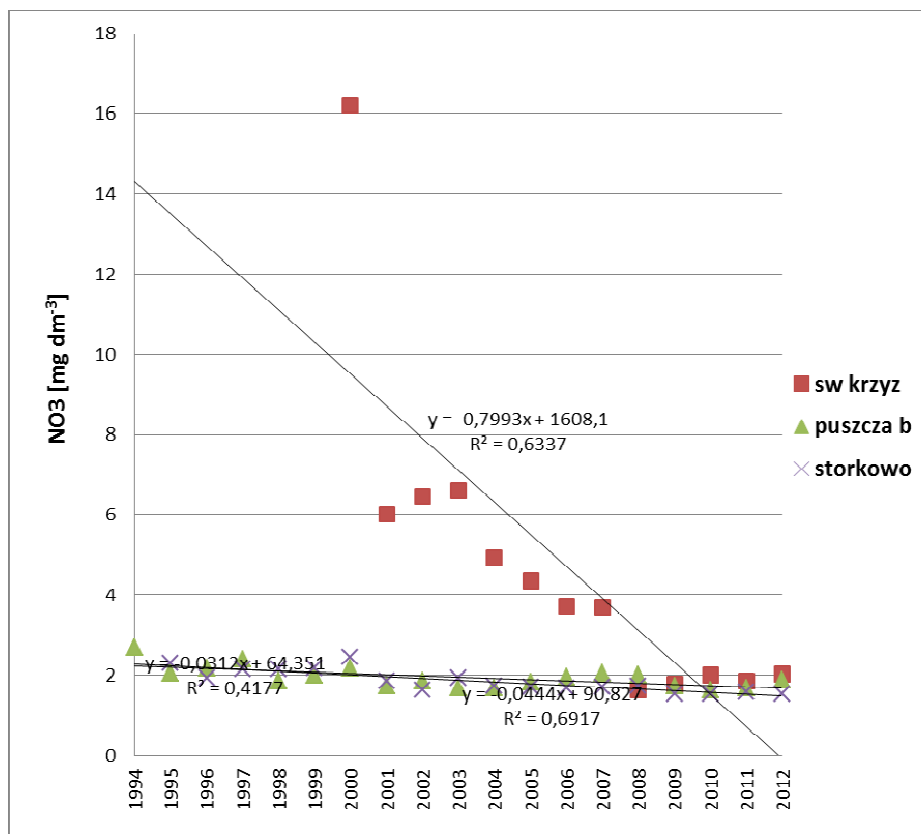
Na przykładzie wód opadowych monitorowanych w Stacji Bazowej w Storkowie (ryc. 18) zauważalna jest prawidłowość spadku od połowy lat 90-tych udziału dni z opadami o pH silnie obniżonym ($<4,1$): do roku 2001 udział takich dni wynosił kilkanaście procent. W kolejnych latach wartość ta nie przekraczała 10%. Od roku 2009 ich frekwencja wynosiła poniżej 1%. W 2012 roku był to już znikomy udział 0,65%. Jednocześnie wzrasta ilość dni z opadami o pH normalnym – 35% w 2012 roku. Główną przyczyną spadku kwasowości wód opadowych jest ograniczanie emisji do atmosfery dwutlenku siarki – gazu pochodzącego w największym stopniu ze spalania paliw kopalnych i uważanego za główny czynnik kwasotwórczy opadów atmosferycznych. Malejąca ilość dwutlenku siarki w atmosferze przekłada się na wzrost pH opadów atmosferycznych i równocześnie na spadek zawartości siarczanów w wodach opadowych, co daje się zaobserwować w wynikach badań niektórych Stacji Bazowych ZMŚP (Szpikowski 2012). W Storkowie w 2012 roku zawartość siarczanów w opadach spadła 4-krotnie w porównaniu z połową lat 90. tych, w Puszczy Boreckiej – ok. 3-krotnie, a na Świętym Krzyżu 2-krotny spadek notuje się od roku 2001. Istotny statystycznie spadek siarczanów stwierdzono w Storkowie (1,8 mg/10 lat), Puszczy Boreckiej (0,6 mg/10 lat), Świętym Krzyżu (5,9 mg/10 lat) i Symbarku (2,9 mg/10 lat), (ryc. 19).



Ryc. 19. Zmiany stężenia jonów siarczanowych i trendy w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Storkowo, Puszcza Borecka, Święty Krzyż i Symbark

Drugim czynnikiem wywołującym zakwaszenie wód opadowych są tlenki azotu, pochodzące głównie ze spalania paliw płynnych. Odzwierciedleniem ograniczenia emisji tlenków azotu są malejące stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych, co obserwuje się w Stacjach Bazowych ZMŚP (ryc. 20). Istotny statystycznie spadek azotanów stwierdzono w Storkowie (0,4 mg/10 lat), Puszczy Boreckiej (0,4 mg/10 lat) i Świętym Krzyżu (7,9 mg/10

lat). Należy zaznaczyć, że spadek stężeń azotanów nie jest tak duży jak w przypadku siarczanów.



Ryc. 20. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Storkowo, Puszcza Borecka, Święty Krzyż i Szymbark

Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów. Ten wskaźnik został wprowadzony Michalską w roku 2000 (Kostrzewski i in. 2007). Został zaakceptowany i zalecany do stosowania w corocznych raportach Stacji Bazowych (Śnieżek 2010). Wskaźnik ten jest zdefiniowany jako stosunek średnich ważonych stężeń jonów NO_3^- i SO_4^{2-} wyrażonych w mikroekwiwalentach na dm^{-3} . 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 równocennego 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^- [$\mu\text{eq dm}^{-3}$]

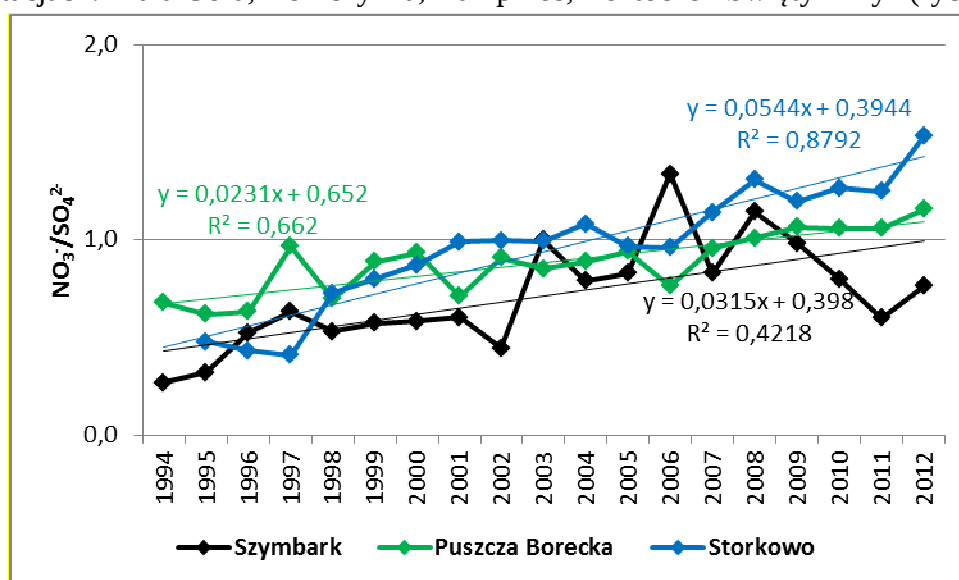
SJ SO_4^{2-} stężenie jonów SO_4^{2-} [$\mu\text{eq dm}^{-3}$]

Zmiany zachodzące w chemizmie wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych, obserwowane w części Stacji Bazowych jako wyraźne trendy wieloletnie, upoważniają do wykorzystywania jako wskaźnika stężeń jonów azotanowych i siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza atmosferycznego oraz opadów, co przejawia się w jakości kolejnych etapów obiegu wody – wodach podziemnych i powierzchniowych.

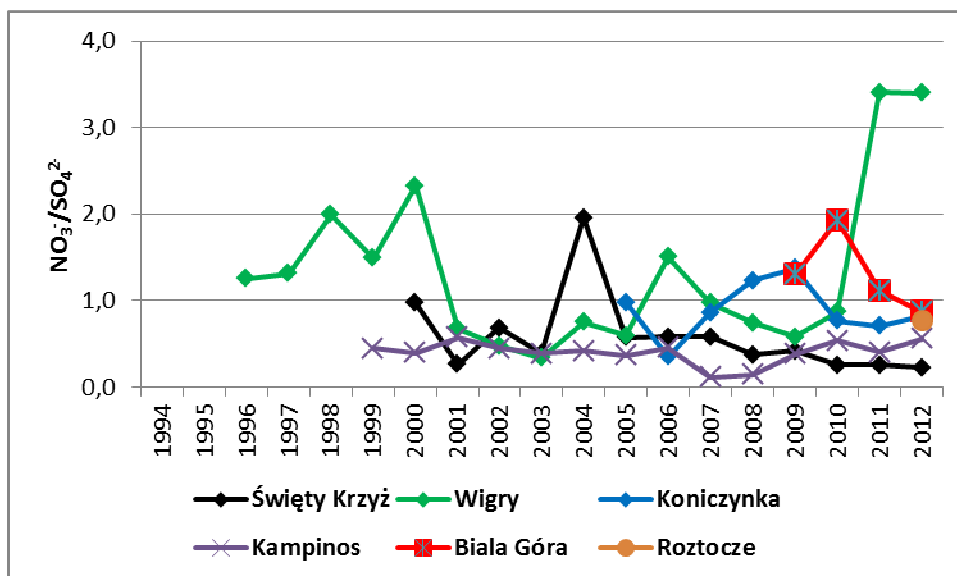
Za kwasowość opadów atmosferycznych w około 60-70% odpowiada dwutlenek siarki, zaś tlenki azotu za pozostałe 30-40% (Isidorow, Jaroszyńska 1998). Wieloletnie obserwacje chemizmu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na zachodzące istotne zmiany w przyczynach zakwaszenia wód opadowych. Zmiany te obrazuje wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów, wyrażony stosunkiem ekwiwalentowych stężeń jonów azotanowych do siarczanowych w opadach.

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

- istotny statystycznie wzrost trendu udziału tlenków azotu w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Storkowo, Puszcza Borecka i Szymbark (dla lat 1994-2011) (ryc. 21),
- przewagę NO_x nad SO₂ w zakwaszaniu opadów w Storkowie, Puszczy Boreckiej w ostatnich 5 latach (ryc. 21).
- znaczne zwiększenie udziału NO_x nad SO₂ w zakwaszaniu opadów, które od 2 lat utrzymuje w Wigrach (ryc. 22),
- większy w 2012 roku udział SO₂ w stosunku do NO_x w zakwaszaniu opadów w Stacjach: Biała Góra, Konieczna, Kampinos, Roztocze i Święty Krzyż (ryc. 22).

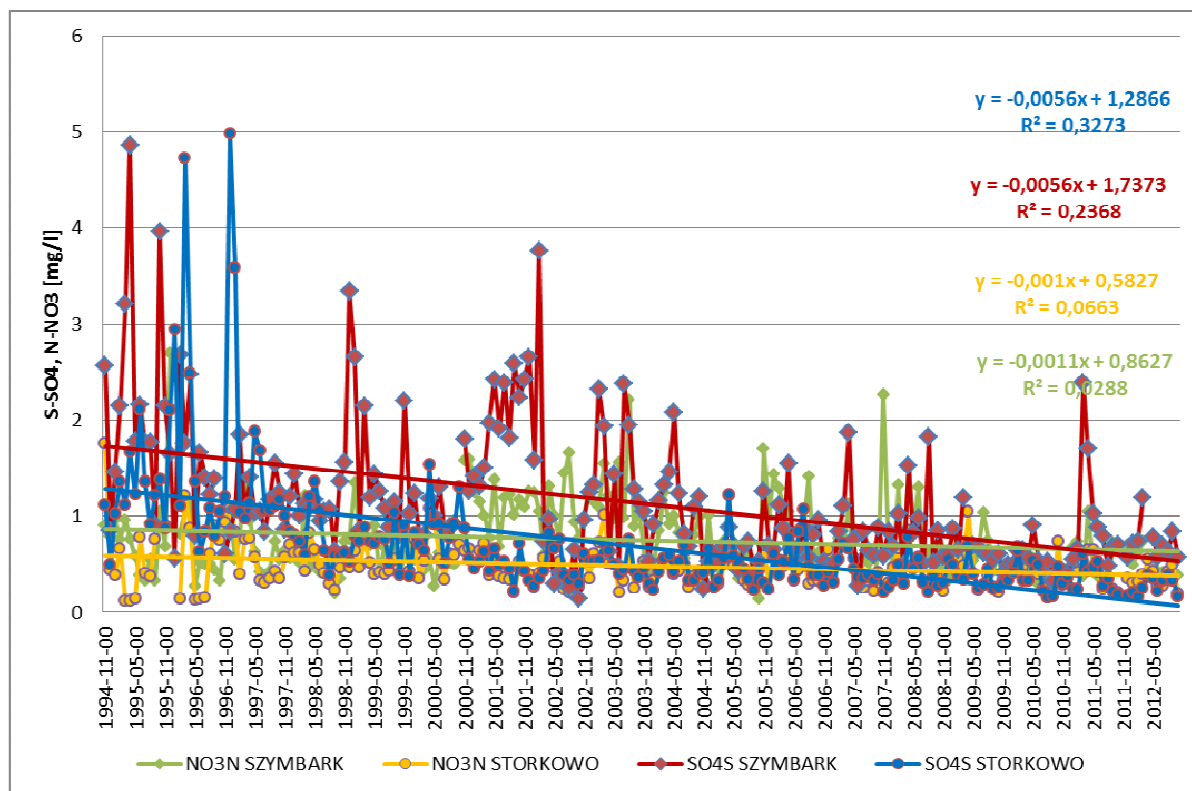


Ryc. 21. Istotne statystycznie zmiany wskaźnika udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka, Storkowo i Szymbark



Ryc. 22. Zmiany wskaźnika udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Biała Góra, Wigry, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż i Roztocze

Analiza wieloletniej serii pomiarowej stężenia azotu azotanowego i siarki siarczanowej w opadach atmosferycznych wykazała trendy spadkowe stężeń tych czynników kwasogennych. Istotny statystycznie spadek N-NO₃ i S-SO₄ stwierdzono m. in. w Storkowie (0,63 mg S-SO₄/10 lat i 0,06 mg N-NO₃/10 lat) i Szymbarku (0,58 mg S-SO₄/10 lat i 0,12 mg N-NO₃/10 lat). Jednocześnie należy zaznaczyć, że trendy spadku stężeń azotanów są wyraźnie niższe niż siarczanów.



Ryc. 23. Istotne statystycznie trendy spadku wskaźników udziału czynników kwasogennych (N-NO₃ i S-SO₄) w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Storkowo i Szymbark

Regionalne zróżnicowanie jakości opadów atmosferycznych – wskaźnik chlorkowo-sodowy

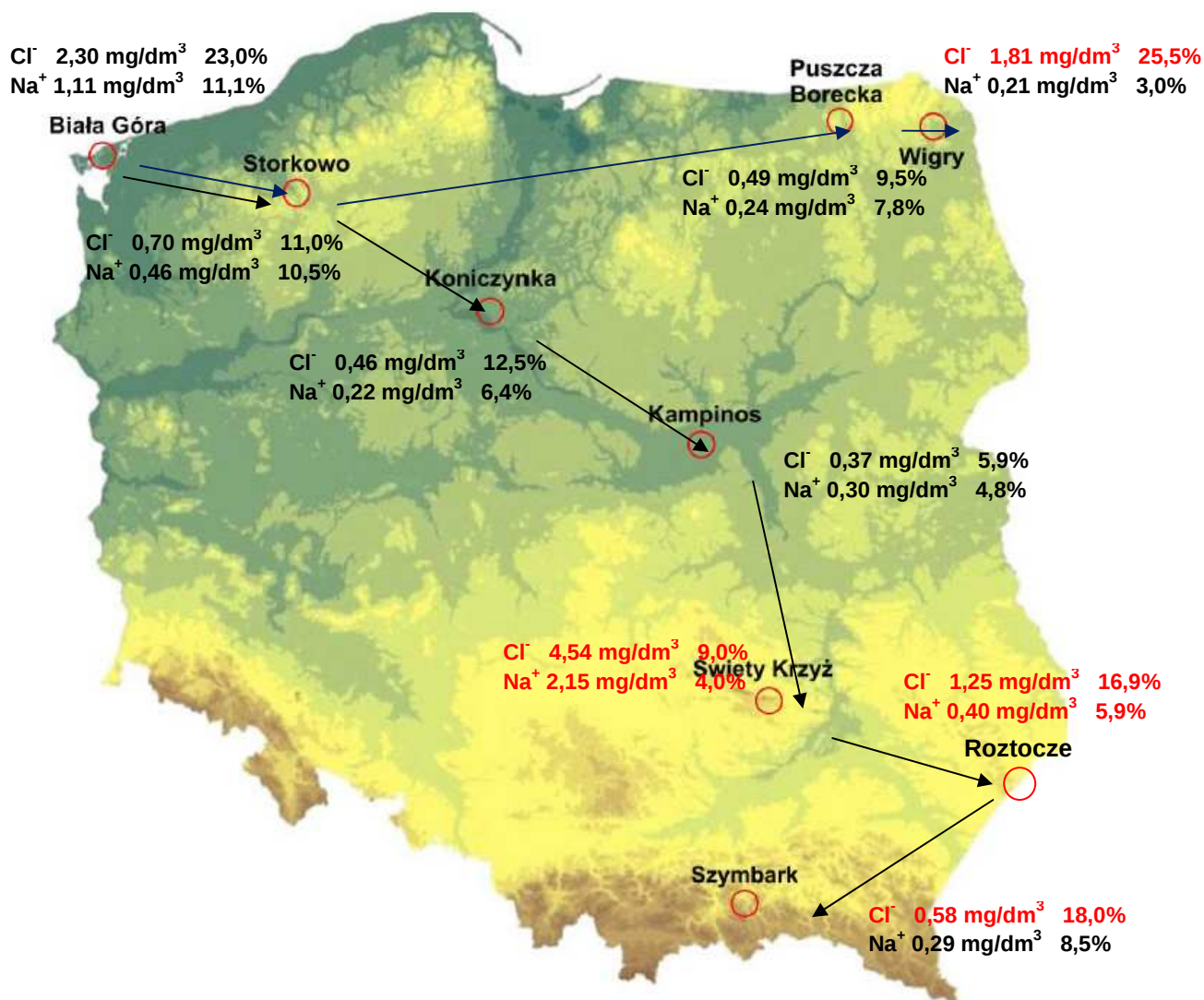
O regionalnym zróżnicowaniu jakości opadów atmosferycznych oraz ich antropogenicznym zanieczyszczeniu można wnioskować na podstawie wielkości stężeń chlorków i sodu oraz udziału tych jonów w składzie chemicznym wód opadowych. Zawartość sodu oraz chlorków w opadzie atmosferycznym zależy głównie od napływu mas powietrza polarnomorskiego, zasobnego w aerozole pochodzenia morskiego w wyniku z rozpylania wody morskiej. Opad atmosferyczny jest stałym rozproszonym źródłem chlorków i sodu występującym na obszarze całego kraju. W nie zanieczyszczonej wodzie opadowej stężenie chlorków i sodu jest stosunkowo małe (poniżej 5 mg/dm^3) i zmniejsza się wraz z oddalaniem się od morza. Zatem najwyższe „naturalne” stężenia chlorku i sodu powinny występować w strefie brzegowej Bałtyku (Stacja Bazowa Biała Góra), niższe w strefie pojezierniej 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). Podwyższone stężenia sodu a zwłaszcza chlorków w centralnej i południowej części Polski świadczą o zanieczyszczeniach antropogenicznych, np. pochodzących z unoszenia pyłów, a także z emisji kwasu solnego i chlorku amonu z zakładów przemysłowych (Sapek 2009).

Zróżnicowanie przestrzenne stężenia chlorków i sodu i ich udziału w składzie chemicznym wód opadowych w transektach południkowym i równoleżnikowym Polski przedstawiono na rycinie 24. 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” stężenie chlorków i sodu powinny maleć w miarę oddalania się do Bałtyku i obejmuje on Stacje: Biała Góra→Storkowo→Koniczynka→Kampinos→Święty Krzyż→Roztocze→Szymbark. Jeśli w transektach występują przypadki wzrostu stężeń chlorków i sodu wraz z oddalaniem się od głównego ich naturalnego źródła jakim jest Morze Bałtyckie można wówczas przypuszczać, że opady atmosferyczne w monitorowanych zlewniach ZMŚP są zanieczyszczone antropogenicznie.

W transekcje równoleżnikowym (strefa młodoglacjalna Niżu Polskiego) występuje prawidłowość spadku stężenia sodu w opadach – od $1,11 \text{ mg/dm}^3$ w Białej Górze, $0,46 \text{ mg/dm}^3$ w Storkowie do $0,21 \text{ mg/dm}^3$ w Wigrach. Dla chlorków spadek stężenia jest również zauważalny w miarę oddalania się od morza – od $2,30 \text{ mg/dm}^3$ w Białej Górze do $0,49 \text{ mg/dm}^3$ w Puszczy Boreckiej. W Wigrach stwierdzono znacznie podwyższone stężenie jonów chlorkowych $1,81 \text{ mg/dm}^3$, co świadczyć może o nadmiernej koncentracji i dostawie tych jonów wskutek działalności człowieka (ryc. 24).

W transekcje południkowym spadek stężenia jonów chlorkowych i sodowych stwierdzono tylko w obrębie Niżu Polskiego – od pobrzeża Bałtyku (Biała Góra), przez młodoglacjalny pas pojezierny (Storkowo i Koniczynka) do strefy staroglacjalnej (Kampinos). W dalej oddalonych od Bałtyku i Niżu Polskiego strefach: gór niskich (Święty Krzyż), wyżyn (Roztocze) i gór średnich (Szymbark) stwierdzono podwyższone wartości sodu a zwłaszcza chlorków. 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 odnotowano zwłaszcza na Świętym Krzyżu, gdzie stężenia chlorków i sodu są dwa razy wyższe niż w regionie nadmorskim.



Ryc. 24. Przestrzenna zmienność stężenia Cl⁻ i Na⁺ i ich udziału w składzie chemicznym wód opadowych stref krajobrazowych Polski (w nawiązaniu do Stacji Bazowych ZMŚP) w 2012 roku.

Wskaźniki jakości wód podziemnych

Azot azotanowy N-NO₃

Do głównych źródeł zanieczyszczeń wód podziemnych można zaliczyć związki azotu, w tym azotu azotanowego. Głównym źródłem dostawy azotu do wód podziemnych jest dostawa atmosferyczna i działalność człowieka związana np. z nawożeniem w rolnictwie. Zawartość związków azotu w wodach gruntowych jest przede wszystkim wynikiem działalności człowieka, ale także efektem naturalnych procesów zachodzących w glebach. Ich wielkość zależy od rodzaju i żyzności gleb, wielkości opadów atmosferycznych, intensywności migracji tych związków w profilu glebowym oraz naturalnych potrzeb roślin i bakterii glebowych. Intensyfikacja produkcji rolniczej wyraźnie zmienia zarówno właściwości gleb, jak i jakość wód gruntowych, prowadząc w efekcie nie tylko do ich zanieczyszczenia, ale również przez migrację związków biogennych – do zmian jakości wód powierzchniowych. Większa część azotu jest wykorzystywana przez roślinność w procesach

biologicznych, związanych z wegetacją. W wodach podziemnych dominują zazwyczaj nieorganiczne, dobrze rozpuszczalne jony azotanowe (Rauba 2009).

W większości Stacji Bazowych obserwowany jest trend spadkowy stężeń azotu azotanowego w wodach podziemnych, co należy korelować z zmniejszaniem zanieczyszczeń powietrza i opadu atmosferycznego. Istotny statystycznie trend liniowy spadku azotanów w wodach podziemnych stwierdzono jedynie dla Storkowa. Wyraźną tendencję obniżenia stężeń azotu azotanowego w wodach podziemnych można zaobserwować w Świętym Krzyżu oraz w Szymbarku. Na Stacjach o dużym udziale gruntów rolnych zauważa się jednakże słabe trendy wzrostowe, np. w Koniczynie.

Siarka siarczanowa S-SO₄

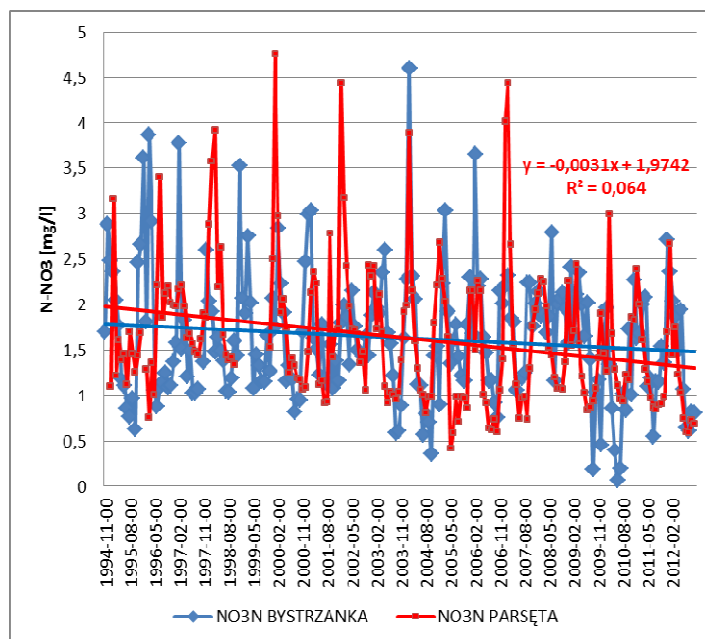
Siarka w wodach podziemnych pochodzi z depozycji atmosferycznej oraz jest wynikiem procesów geochemicznych zachodzących w glebie. W większości badanych zlewni stwierdzono spadek stężeń siarki siarczanowej w wodach podziemnych, które są wynikiem zmniejszania się ilości siarki w powietrzu oraz opadach atmosferycznych. Wyraźne, istotne statystycznie zmniejszanie się stężeń siarki siarczanowej stwierdzono w wodach podziemnych w Storkowie oraz w Wigrach.

Wskaźniki jakości wód powierzchniowych

We wszystkich 9 Stacjach Bazowych ZMŚP prowadzono w roku 2012 monitoring wód powierzchniowych. Odpływ powierzchniowy ze zlewni stanowi podstawową drogę odprowadzania z geoeosystemu substancji rozpuszczonych. Najważniejsze źródła substancji rozpuszczonych w odpływie powierzchniowym stanowi dostawa atmosferyczna i zasilanie z wód podziemnych. Badania wykazują, że w części zlewni w dużym stopniu na skład chemiczny wód powierzchniowych wpływa działalność człowieka, szczególnie na obszarach zurbanizowanych oraz intensywnie wykorzystywanych rolniczo (Szpikowski 2012).

Azot azotanowy N-NO₃

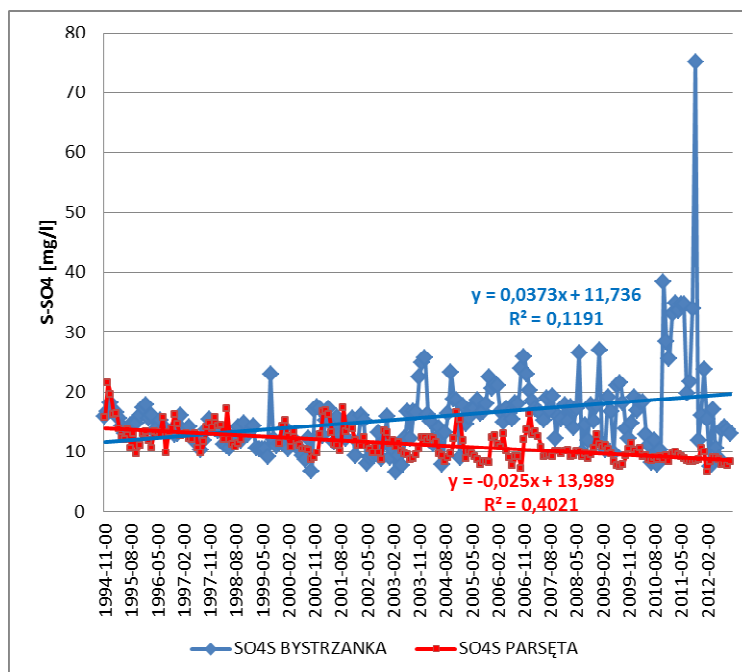
Wieloletni przebieg zmienności stężenia azotu azotanowego w wodach rzecznych generalnie wskazuje na zróżnicowany przestrzennie trend zmian stężenia N-NO₃. Istotny statystycznie spadek stężenia azotu azotanowego odnotowano jedynie w Storkowie (Parsęta). W Stacji Szymbark pomimo równie długiego ciągu pomiarowego brak istotności statystycznej zmian stężenia N-NO₃ w Bystrzance (ryc. 25). Trend 10. letni spadku stężenia N-NO₃ w Parsęcie w Storkowie wynosi 0,4 mg/l. W pozostałych Stacjach Bazowych trend zmian stężenia azotu azotanowego jest nieistotny statystycznie, jednakże pokazuje on pewne prawidłowości. Tendencję do spadku stężenia azotu azotanowego obserwowano w Stacjach Bazowych Święty Krzyż oraz w Puszczy Boreckiej. Najczęściej na Stacjach Bazowych stężenia azotu azotanowego w badanych okresach cechują się bardzo małą zmiennością (np. Wigry) lub mają nieznaczną tendencję do zwiększania koncentracji (np. Koniczynka). Generalnie w przypadku azotu azotanowego ich odprowadzanie wodami rzeczными ze zlewni ZMŚP nie podlega wyraźnym zmianom czasowym. Głównym przyczyną jest zatrzymywanie znacznej części związków azotowych przez roślinność. Na tle innych Stacji Bazowych niekorzystnie wyróżnia się zlewnia Strugi Toruńskiej w Koniczynie, w której stężenia N-NO₃ są o ponad 100% wyższe niż w pozostałych monitorowanych ciekach (około 1-2 mg/l). Związane jest to z rolniczym użytkowaniem zlewni w Koniczynie.



Ryc. 25. Zmiany stężenia N-NO₃ w wodach rzecznych w Stacjach Bazowych ZMŚP Storkowo (Parsęta) i Szymbark (Bystrzanka).

Siarka siarczanowa S-SO₄

Wieloletni przebieg zmienności stężenia siarki siarczanowej w wodach rzecznych generalnie wskazuje na spadkowy trend stężenia S-NO₄, jednakże są również notowane przypadki wzrostu stężenia S-SO₄, np. w Bystrzance w Stacji Bazowej Szymbark. Istotny statystycznie spadek stężenia siarki siarczanowej odnotowano jedynie w Storkowie (Parsęta) oraz w odpływie z Jeziora Łękuk (Stacja Puszcza Borecka). W Szymbarku natomiast stwierdzono istotny statystycznie wzrost stężenia siarki siarczanowej w Bystrzance (ryc. 26). Trend 10. letni spadku stężenia S-SO₄ w Parsęcie wynosi 4,4 mg/l i 2,7 mg/l w odpływie z Jeziora Łękuk oraz trend wzrost stężenia 4,2 mg/l/10 lat w Bystrzance. W pozostałych Stacjach Bazowych trendy liniowe zmian stężenia siarki siarczanowej są nieistotne statystycznie i nie wykazują wyraźnej zmiany.

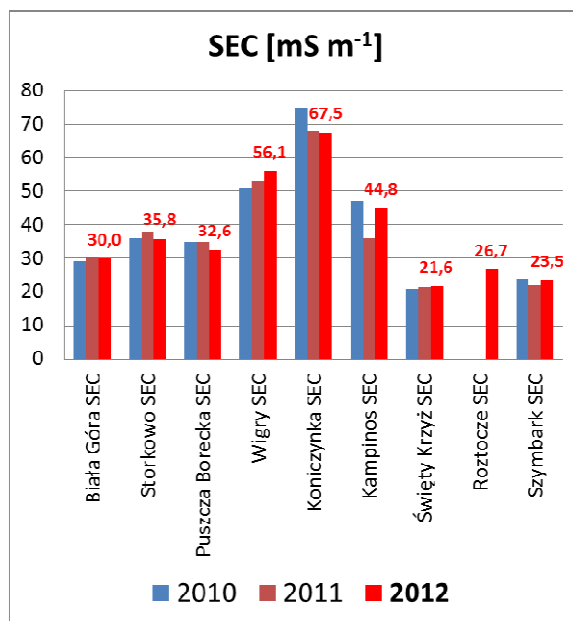


Ryc. 26. Zmiany stężenia S-SO₄ w wodach rzecznych w Stacjach Bazowych ZMŚP Storkowo (Parsęta) i Szymbark (Bystrzanka).

Analiza składu chemicznego wód rzecznych w Stacjach Bazowych w 2012 roku podobnie jak w poprzednich latach pozwala zakwalifikować je (wg klasyfikacji Szczukariewa) do wód prostych: wodorowęglanowo-wapniowych (Lewińska Struga, Parsęta, odpływ z jeziora Łękuk, Struga Toruńska i Świerszcz), wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowych (Kanał Olszowiecki i Bystrzanka), wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych (Czarna Hańcza) oraz siarczanowo-wapniowo-magnezowe (odpływ C6 na Świętym Krzyżu).

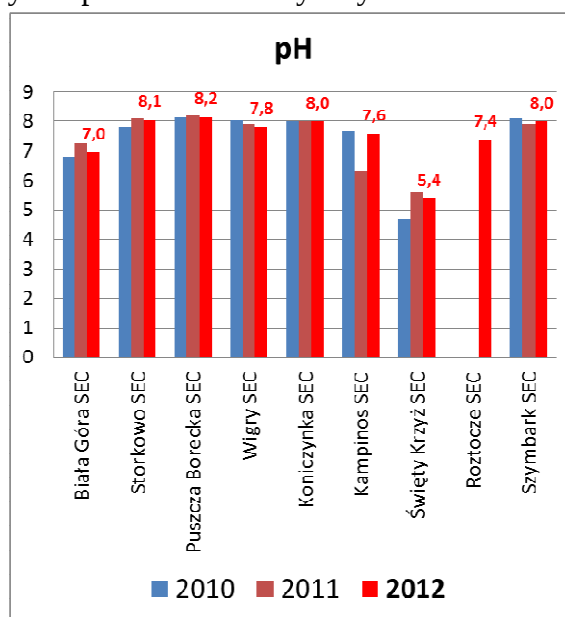
Badania chemizmu wód powierzchniowych w monitorowanych zlewniach w roku 2012 potwierdzają, że przebieg przewodności właściwej (SEC), która jest wskaźnikiem mineralizacji wód rzecznych zależy od wielkości przepływu. Zależność ta ma charakter odwrotnie proporcjonalny. Najwyższe wartości SEC przyjmuje podczas niskich stanów wód, kiedy w wodach rzecznych jest najwyższy udział wysoko zmineralizowanych wód podziemnych. Wysokie przepływy wód rzecznych związane są z występowaniem wezbrań roztopowych i opadowych, kiedy woda w rzece jest rozcieńczana w wyniku wzmożonej dostawy nisko zmineralizowanej wody opadowej i z roztopów pokrywy śnieżnej.

Największe zmiany wartości przewodności elektrolitycznej właściwej SEC zmierzonymi w roku 2012 w porównaniu do lat 2011 i 2010 odnotowano w Koniczynie i Wigrach (ryc. 27). W Wigrach na Czarnej Hańczy w rozpatrywanym trzyleciu odnotowano niekorzystny wzrost przewodności (a zarazem mineralizacji wód rzecznych) od wartości 51 do 56 mS/m. Pozytywną prawidłowość spadku przewodności odnotowano w Koniczynie na Toruńskiej Strudze z od wartości 74 mS/m w 2010 roku do 67,5 mS/m w 2012 roku. W pozostałych ciekach nie stwierdzono wyraźnych tendencji zmian przewodności w latach 2010-2012.



Ryc. 27. Zmiany przewodności (SEC) wód rzecznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w okresie 2010-2012.

Największe zmiany odczynu w wodach rzecznych w roku 2012 w odniesieniu do lat 2011 i 2010 odnotowano w Kampinosie (ryc. 28). Kanał Olszowiecki odznacza się dużymi rocznymi zmianami odczynu (od 6,2 w 2011 roku do 7,8 pH w 2010 roku), jednakże bez tendencji kierunkowej (spadek lub wzrost). Niekorzystny trend spadku odczynu obserwowany jest w Wigrach, na Czarnej Hańczy (od 8,0 w 2010 roku do 7,8 pH w 2012 roku). W pozostałych monitorowanych ciekach nie ma tendencji do spadku lub wzrostu odczynu w trzyleciu 2010-2012. Wśród wód rzecznych zdecydowanie wyróżniają się bardzo kwaśne wody cieku C6 na Świętym Krzyżu. Znaczne zakwaszenie (5,4 pH w 2012 roku) cieku C6 jest z jednej strony efektem budowy geologicznej Gór Świętokrzyskich a z drugiej strony wynikiem dostawy znacznych zanieczyszczeń antropogenicznych z powietrzem atmosferycznym i kwaśnymi opadami atmosferycznymi.



Ryc. 28. Zmiany odczynu wód rzecznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w okresie 2010-2012.

Bilans jonowy siarki siarczanowej $S-SO_4$ i azotu azotanowego $N-NO_3$ (czynniki kwasogennych)

W oparciu o roczne stężenia $S-SO_4$ i $N-NO_3$ w wodach opadowych i rzecznych oraz roczne sumy opadów atmosferycznych P [mm] i wysokości warstwy odpływu H [mm] można określić bilans denudacyjny głównych czynników zakwaszania środowiska przyrodniczego badanych zlewni ZMŚP (tab. 11).

Tab. 11. Bilans $S-SO_4$ i $N-NO_3$ (czynniki kwasogennych) w zlewniach badawczych ZMŚP w 2012 roku

Parametr	BIAŁA GÓRA	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYŻ	ROZTOCZE	SZYMBARK
Opad atmosferyczny [mm]	679,7	698,3	794,4	575,0	484,2	545,6	657,4	645,1	632,8
Opad $S-SO_4$ [mg/dm ³]	0,7	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	6,9	0,4	0,7
Opad $N-NO_3$ [mg/dm ³]	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	2,5	0,3	0,5
Odpływ rzeczny [mm]	133,3	278,7	180,0	168,6	176,2	434,0	82,5	121,8	85,8
Odpływ $S-SO_4$ [mg/dm ³]	6,6	8,8	2,7	9,1	20,9	8,2	21,4	5,7	12,1
Odpływ $N-NO_3$ [mg/dm ³]	0,4	1,5	0,2	2,0	3,2	0,1	1,1	0,3	1,7
Bilans $S-SO_4$ [mg/m ²]	-427	-2257	-156	-1247	-3445	-3187	2748	-432	-608
Bilans $N-NO_3$ [mg/m ²]	285	-176	305	-54	-317	253	1562	143	148

Analiza bilansu azotu azotanowego i siarki siarczanowej w zlewniach badawczych ZMŚP pozwala na wnioskowanie o znaczącej roli użytkowania terenu oraz antropopresji na obieg materii (w tym czynników kwasogennych) w zlewniach rzecznych. W zlewniach użytkowanych rolniczo (Storkowo a zwłaszcza Koniczynka) stwierdzono znaczący udział odpływu $N-NO_3$ ze zlewni, który jest efektem nawożenia pól uprawnych. W Koniczynie stwierdzono w 2012 roku ujemny bilans $N-NO_3$ wynoszący -317 mg/m². W zlewniach o dużym udziale lasów bilans azotu azotanowego jest wysoki (Biała Góra, Puszcza Borecka), wynoszący około +300 mg/m². W zlewniach zalesionych azot dostarczony z opadami atmosferycznymi wykorzystywany jest głównie do rozwoju roślinności a mały udział pól uprawnych powoduje ograniczenie nawożenia i możliwość wystąpienia spływów powierzchniowych z azotanami do koryt rzecznych i dalszego ich odpływu poza zlewnię. Szczególnym przypadkiem jest zlewnia na Świętym Krzyżu, gdzie w wyniku bardzo dużej depozycji azotu azotanowego (zanieczyszczenia antropogeniczne związkami dostarczane wraz z powietrzem i opadami atmosferycznymi) oraz bardzo niskiego odpływu bilans $N-NO_3$ jest bardzo wysoki wynoszący +1562 mg/m², co bardzo niekorzystnie wpływa na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego. W przypadku jonów siarki siarczanowej we wszystkich zlewniach (oprócz Świętego Krzyża) bilans jest ujemny. Na Świętym Krzyżu znaczna akumulacja $S-SO_4$ w 2012 roku (+2748 mg/m²) wynika z bardzo wysokiej dostawy związków siarki z zanieczyszczonymi antropogenicznie opadami.

Bilans denudacyjny

Funkcjonowanie obiegu materii w zlewniach ZMŚP może być przedstawione za pomocą bilansu materii rozpuszczonej, który jest odzwierciedleniem naturalnych procesów geomorfologicznych (procesów denudacji chemicznej → jony denudacyjne → głównie siarczany, chlorki, sól, magnez, wapń) oraz działalności człowieka (dostawa zanieczyszczeń, np. → zwiększona dostawa biogenów → głównie azot, fosfor, 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), gdyż ilość materii odpływającej w korycie rzecznej jest przybliżonym odbiciem aktualnych procesów zachodzących na obszarze zlewni (Froehlich 1982, Kostrzewski, Mazurek, Zwoliński 1994, Szpikowska, Tylkowski 2006).

W raporcie określono bilans jonowy zlewni ZMŚP w 2012 roku, w oparciu o różnicę ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonego z wodami opadowymi i odpływającego w wodach rzecznych. 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).

Tab. 12. Bilans denudacyjny w zlewniach badawczych ZMŚP w 2012 roku

Parametr	BIAŁA GÓRA	STORKOWO	PUSZCZA BORECKA	WIGRY	KONICZYŃKA	KAMPINOS	ŚWIĘTY KRZYŻ	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	-1259	-6763	-470	-4141	-10334	-9555	8244	-830	-1809
Cl	-643	-1540	-433	-3655	-6207	-5770	2014	468	-345
Na	-408	-1156	-317	-5111	-2677	-3851	665	-23	-846
Mg	-536	-1345	-1546	-2323	-2939	-4854	486	-145	-300
Ca	-5885	-17982	-10169	-13550	-19883	-36797	2258	-5558	-2909
Suma	-8730	-28785	-12935	-28778	-42040	-60827	13667	-6089	-6208
Jony biogeniczne [mg/m^2]									
NO_3	1255	-792	1366	-18	-1396	1113	6879	912	643
NH_4	275	368	367	168	398	359	2074	514	659
K	-105	-585	-357	-48	-1683	-666	487	55	-319
Suma	1425	-1009	1376	102	-2680	806	9439	1481	984

Analiza bilansu denudacyjnego w zlewniach ZMŚP (tab. 12) wykazała dodatni budżet jedynie dla jonów amonowych, których dostawa związana jest głównie z naturalną depozycją wraz z opadami atmosferycznymi. Pozostałe składniki chemiczne cechują się przeważnie ujemnym bilansem denudacyjnym, będącym efektem przewagi wietrzenia chemicznego i odprowadzania fluwialnego nad dostawą wraz z opadami atmosferycznymi. Specyficzna sytuacja występuje na Świętym Krzyżu, gdzie w wyniku dostawy znacznie zanieczyszczonych antropogenicznie opadów atmosferycznych oraz bardzo małego odpływu rzecznej występuje dla wszystkich jonów dodatni bilans jonów denudacyjnych i biogenicznych, co powoduje akumulację zanieczyszczeń w zlewni. Ujemny bilans jonów denudacji chemicznej w zlewniach ZMŚP (oprócz Świętego Krzyża) wynika z procesów rozpuszczania skał i odprowadzania materii rozpuszczonej ze zlewni wodami rzeczными. Zauważyć można prawidłowość wyższego ujemnego bilansu jonowego ze zlewni o większej antropopresji. Zwiększony odpływ materii rozpuszczonej w tych zlewniach związany jest ze znacznym udziałem powierzchni o rolniczym użytkowaniu, które powoduje szybsze odprowadzanie wody i substancji rozpuszczonych ze zlewni, np. Koniczynka, Storkowo, Wigry. W zlewniach o dużym udziale lasów (np. Biała Góra, Puszcza Borecka) znaczna ilość wody jest przechwytywana przez roślinność i obieg wody jest spowolniony, co powoduje że bilans jonów denudacji chemicznej jest względnie wyższy, aczkolwiek ujemny.

W przypadku jonów biogenicznych ujemny bilans obserwowano w zlewniach o znacznym udziale gruntów rolnych, np. Koniczynka czy Storkowo. Na ujemny bilans jonów azotanowych i potasowych w tych zlewniach wpływa przede wszystkim antropogeniczne wprowadzanie związków azotu i potasu wraz z nawozami rolniczymi (zwłaszcza Koniczynka) oraz w mniejszym stopniu dopływ ścieków gospodarczych (zwłaszcza Storkowo). Dodatni bilans biogenów występuje zwłaszcza w zlewniach leśnych (Biała Góra, Puszcza Borecka, Roztocze). W tych zlewniach dostarczane z opadami atmosferycznymi nutrieny wykorzystywane są w procesach związanych z rozwojem roślin i w niewielkim stopniu dostarczane są do wód gruntowych i dalej odprowadzane wodami rzecznyymi poza zlewnię.

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

Wskaźniki eutrofizacji wód powierzchniowych

Eutrofizacja jest naturalnym procesem przyrodniczym. W przypadku np. oligotroficznych jezior polodowcowych naturalna eutrofizacja oznacza proces stopniowego, wieloletniego użyźniania i wypełniania zbiornika jeziornego materiałem pochodzenia autochtonicznego i allochtonicznego. Końcowym etapem takiej naturalnej eutrofizacji jest przekształcanie jezior w bagna (torfowiska) i późniejsza zamiana na ekosystemy lądowe. Aktualnie najczęściej występuje przyspieszona eutrofizacja antropogeniczna w wyniku zmian użytkowania terenu i przekształcenia zlewni wskutek np. wylesień i rolniczego wykorzystania terenu z intensywnym nawożeniem. Obecnie obserwowane przyspieszenie eutrofizacji jest wynikiem zwiększonej dostawy zanieczyszczeń, głównie biogenów (ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych oraz nawozów) oraz szybszego krążenia wody w przekształconych antropogenicznie geoekosystemach. Pierwiastkami budulcowymi dla glonów i makrofitów wodnych są węgiel, azot i fosfor. Nadmierne stężenia w wodzie związków azotu a zwłaszcza fosforu powoduje eutrofizację i nadmierny wzrost niepożądanych organizmów żywych. „W środowisku wodnym najczęściej spotykana jest sytuacja, gdy występuje nadmiar węgla i azotu, tzn. ograniczanie wielkości produkcji pierwotnej powodowane jest niedoborem fosforu, z czego wynika zagrożenie szybkiego przyrostu biomasy roślin, ze wszystkimi negatywnymi konsekwencjami, w wyniku zwiększonego zasilania ód tym pierwiastkiem” (Rynkiewicz 2007). W związku z powyższym największe zagrożenie eutrofizacją występuje w przypadku wzrostu stężenia fosforu.

Rozporządzenie Ministra Środowiska (2002) roku podaje wartości graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji różnych typów wód. Na tej podstawie można wskazać, które zlewnie kontrolowane w ramach ZMŚP spełniają wyznaczone kryteria (tab. 12). W 2012 roku w żadnej z badanych zlewni nie stwierdzono przekroczenia zawartości w wodach rzecznych fosforu ogólnego ($>0,25 \text{ mg dm}^{-3}$). Z przyczyn technicznych (awaria aparatury) nie wykonano pełnego (co miesięcznego) oznaczenia fosforu ogólnego dla Białej Góry i Świętego Krzyża a w Puszczy Boreckiej wyniki z 2012 roku są niepewne. W porównaniu z rokiem 2011 polepszyła się jakość wód Kanału Olszowieckiego w Kampinosie, gdyż w 2012 roku w odróżnieniu od roku poprzedniego norma Pog. nie została przekroczona.

W przypadku azotu azotanowego stężenia dopuszczalne ($2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) są przekroczone jedynie w Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka zamykającym zlewnię

badawczą. Jednakże w porównaniu z rokiem poprzednim stężenie w badanym cieku wykazuje pozytywną tendencję i znaczny spadek o 30%. Zaobserwowano w Toruńskiej Strudze od kilku lat prawidłowość spadku stężeń azotu azotanowego, jednakże przekroczona wartość graniczna powodują ryzyko eutrofizacji i w konsekwencji utrzymywania się degradacji cieku. W przypadku stężeń jonów azotanowych norma wynosząca 10 mg dm^{-3} przekroczona została jedynie w Koniczynie.

Tab. 12. Wskaźniki eutrofizacji rzek w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2012 roku

Stacja - ciek	Pog [mg dm^{-3}]	N- NO_3^- [mg dm^{-3}]	NO_3^- [mg dm^{-3}]
Biała Góra – Lewińska Struga	---	0,41	1,80
Storkowo - Parsęta	0,09	1,51	6,70
Puszcza Borecka – odpływ z Jeziora Łękuk	---	0,16	0,71
Wigry - Ujście	0,12	1,99	8,83
Koniczynka - Koniczynka	0,17	3,20	14,3
Kampinos – Kanał Olszowiecki	0,10	0,12	0,53
Święty Krzyż – C6	---	1,06	4,60
Roztocze – Malowany Most	0,07	0,31	1,36
Szymbark - Bystrzanka	0,08	1,67	7,40

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 za wskaźnik poziomu eutrofizacji wód jeziornych uznano stężenia fosforu ogólnego o normie poniżej $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$. Powyższa norma została przekroczona w przypadku dwóch monitorowanych jezior: Jeziora Gardno i Łękuk. Dobrym wskaźnikiem odznacza się jedynie Jezioro Czarne monitorowane przez Stację w Storkowie (tab. 13).

Tab. 13. Wskaźniki eutrofizacji jezior w Stacjach Bazowych ZMŚP w 2012 roku

Stacja - ciek	Pog. [mg dm^{-3}]	N- NO_3^- [mg dm^{-3}]	NO_3^- [mg dm^{-3}]
Biała Góra – Jezioro Gardno	0,20	0,09	0,39
Storkowo – Jezioro Czarne	0,08	0,02	0,09
Puszcza Borecka – Jezioro Łękuk	0,47	0,11	0,47

Spośród jezior badanych w ramach monitoringu zintegrowanego tylko jezioro Czarne ma wody oligotroficzne pod względem ilości azotu i fosforu, natomiast dystroficzne z uwagi na małą ilość tlenu rozpuszczonego. Mała ilość związków rozpuszczonych w wodach jest konsekwencją opadowego zasilania tego jeziora (Szpikowski 2012). Natomiast odmienny typ trofii i sposób zasilania występuje w jeziorach Gardno i Łękuk, w których dominuje zasilanie podziemne i powierzchniowe. Należy podkreślić, że przekroczenie wartości granicznych stężeń fosforu w jeziorach Gardno i Łękuk wynika przede wszystkim z lokalnych uwarunkowań przyrodniczych (las w zlewni Jeziora Gardno zajmują 97% powierzchni a w zlewni Jeziora Łękuk 82%, brak możliwości biogenów ze spływem powierzchniowym do misy jeziornej) a nie związanych z dostawą zanieczyszczeń antropogenicznych, zwłaszcza pochodzenia rolniczego.

7. WSKAŹNIKI FIZYKOCHEMICZNE JAKOŚCI WÓD POWIERZCHNIOWYCH I PODZIEMNYCH

Realizowany w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego monitoring fizykochemiczny wód powierzchniowych i podziemnych można odnieść do wartości granicznych stanu ekologicznego wód powierzchniowych i stanu chemicznego wód podziemnych. Monitoring fizykochemiczny wód w zlewniach ZMŚP odzwierciedla jakość wybranych (nie wszystkich) wskaźników decydujących o stanie ekologicznym jednolitych części wód powierzchniowych i stanie chemicznym wód podziemnych - w nawiązaniu do Ramowej Dyrektywy Wodnej, zgodnie z Rozporządzeniami Ministra Środowiska (2008 a, b).

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 badanych wskaźników fizykochemicznych określić stan ekologiczny wód – jedynie w zakresie elementów fizykochemicznych. Wartości graniczne fizykochemicznych wskaźników jakości wód odnoszą się do Rozporządzenie Ministra Środowiska (2008a).

W raporcie określono stan ekologiczny wód powierzchniowych (cieki naturalne) w zlewniach ZMŚP jedynie pod względem wybranych wskaźników fizykochemicznych. W zlewniach ZMŚP monitoringiem objęto wybrane następujące wskaźniki (zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2008a)):

- 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 monitorowane wskaźniki fizykochemiczne można stwierdzić że większość cieków monitorowanych w ZMŚP (w zakresie badanych wskaźników) posiadała w 2012 roku bardzo dobry i dobry stan ekologiczny – klasy I i II (tab. 14). Pod względem klas wartości dla następujących składników fizykochemicznych (temperatura, przewodność, odczyn, związki azotu, fosforu, siarczany, chlorki, wapń i magnez) najczęściej mieszczą się w normach klas I – II. Natomiast do klas poniżej stanu dobrego III - V wody rzeczne nie spełniają najczęściej wymogów dobrego natlenienia. Stan dobry występował na rzece Świerszcz na Roztoczu oraz w Strudze Toruńskiej. Na obniżenie jakości do II klasy wód Świerszcza wpłynęły gorsze parametry natlenienia. W Strudze Toruńskiej w profilu Koniczynka zmierzono podwyższone wartości wapnia i azotu azotanowego, które są efektem dominacji rolnego użytkowania zlewni. Najgorszą ocenę chemiczną (poniżej stanu dobrego) posiadał ciek C6 na Świętym Krzyżu oraz Lewińska Struga w Stacji w Białej Górze. Na Świętym Krzyżu o względnie gorszym stanie ekologicznym zadecydowała niska wartość odczynu wody (pH 5,40) i silne jej zakwaszenie. Silne zakwaszenie wód rzecznych w jest wynikiem zarówno specyficznej budowy geologicznej Gór Świętokrzyskich jak i efektem

dostawy kwaśnych opadów atmosferycznych pochodzących z dalekiej emisji. Natomiast w Lewińskiej Strudze występowały złe warunki natlenienia (O_2 3,92 mg/l), których przyczyną była znaczna bezwładność odpływu wody związana z rzeczno-jeziornym systemem odpływu wody. Monitorowany odcinek Lewińskiej Strugi o długości 400 m znajduje się między jeziorami oraz posiada bardzo mały spadek, który wpływa bardzo małą prędkość wód w cieku. Ograniczony ruch wody pogarsza jej natlenienie. Należy podkreślić, iż gorszy stan ekologiczny (poniżej dobrego) Lewińskiej Strugi wynika przede wszystkim z ograniczonej dynamiki odpływu wody a nie jest efektem szkodliwej działalności człowieka.

Tab. 14. Jakość płynących wód powierzchniowych w 2012 roku wg wybranych parametrów fizykochemicznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2008a) 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 B	Ciek I rzędu C6	Świerszcz (Malowany Most)	Bystrzanka
Parametr fizykochemiczny									
Temperatura wody [°C]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Tlen rozpuszczony [mg O_2 /l]	poniżej stanu dobrego	I		I	I			II	I
BZT ₅ [mg O_2 /l]	poniżej stanu dobrego	I		I	I	I			I
Przewodność [mS/cm]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Substancje rozpuszczone [mg/l]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Siarczany [mg SO_4 /l]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Chlorki [mg Cl/l]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Wapń [mg Ca/l]	I	I	I	I	II	I	I	I	I
Magnez [mg Mg/l]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Odczyn [pH]	I	I	I	I	I	I	poniżej stanu dobrego	I	I
Azot amonowy [mg N- NH_4 /l]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Azot azotanowy [mg N- NO_3 /l]	I	I	I	I	II	I	I	I	I
Azot ogólny [mg N/l]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Fosfor ogólny [mg P/l]	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Stan Ekologiczny	poniżej stanu dobrego	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry	dobry	bardzo dobry	poniżej stanu dobrego	dobry	bardzo dobry

W raporcie określono stan ekologiczny wód jeziornych w zlewniach ZMŚP jedynie pod względem wybranych wskaźników fizykochemicznych, wśród których zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2008a) należą:

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

- wskaźniki charakteryzujące warunki biogenne (azot ogólny, fosfor ogólny).

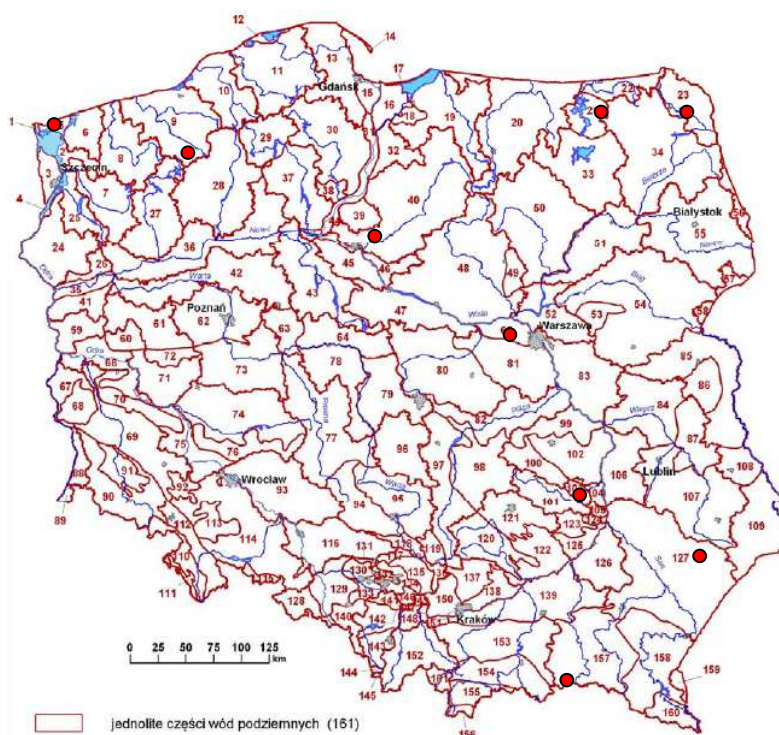
W oparciu o wybrane wskaźniki fizykochemiczne można stwierdzić że monitorowane w ramach ZMŚP jeziora Gardno (Biała Góra), Czarne (Storkowo) i Łękek (Puszcza Borecka) posiadały w 2012 roku bardzo dobry – dobry stan ekologiczny – klasa I – II (tab. 15).

Tab. 15. Jakość stojących wód powierzchniowych w 2012 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]	I	I	I
Przewodność [mS/cm]	I	I	I
Azot ogólny[mg N/l] – Współczynnik Schindlera	I	I	I
Fosfor ogólny [mg P/l] -Współczynnik Schindlera	I	I	I
Stan ekologiczny	I – II	I – II	I – II

Wody podziemne

Monitoring fizykochemiczny wód podziemnych w zlewniach reprezentatywnych realizowany jest w następujących jednolitych częściach wód (JCWp), (ryc. 29): Biała Góra (5), Storkowo (9), Puszcza Borecka (21), Wigry (23), Koniczynka (40), Kampinos (65), Święty Krzyż (103), Roztocze (127), Szymbark (157).



Ryc. 29. Lokalizacja Stacji ZMŚP w podziale jednolitych części wód podziemnych (http://www.psh.gov.pl/plik/id,4787,v,artykul_3746.pdf)

Monitorowane w ramach ZMŚP wody podziemne odniesiono do klasyfikacji zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2008b).

W raporcie określono stan chemiczny wód podziemnych w zlewniach ZMŚP jedynie dla wybranych elementów fizykochemicznych, do których zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2008b) należą:

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

W oparciu o wybrane elementy fizykochemiczne można stwierdzić że większość wód podziemnych monitorowanych w ZMŚP posiadała w 2012 roku dobry stan chemiczny: Biała Góra (2 piezometry: dobry stan II klasa), Storkowo (3 piezometry: dobry stan III klasa), Puszcza Borecka (1 studnia: dobry stan II klasa), Wigry (1 piezometr: dobry stan III klasa), Konieczynka (1 piezometr: dobry stan III klasa), Kampinos (14 piezometrów: dobry stan III klasa, 2 piezometry: słaby stan IV klasa), Święty Krzyż (2 źródła: dobry stan II klasa), Roztocze (1 piezometr: dobry stan I klasa (wody kredowe), 2 piezometry słaby stan IV klasa (wody czwartorzędowe), Szymbark (1 studnia: dobry stan II klasa). Dobry stan wód podziemnych stwierdzono głównie w zlewniach ZMŚP o niskiej antropopresji (np. Biała Góra, Puszcza Borecka) i dotyczył on głównie wód z głębszych poziomów wodonośnych. Słaby stan chemiczny stwierdzono w zlewniach (np. Kampinos i Roztocze) gdzie występowały wody młode, z płytkich poziomów mających kontakt hydrauliczny z infiltracją powierzchniowych zanieczyszczeń. Przekroczenie wartości granicznych dla wód o dobrym stanie chemicznym dotyczyło najczęściej niekorzystnych warunków tlenowych i podwyższonego stężenia wodorowęglanów i wapnia. Lokalizacja punktów pomiarowych w stacjach Kampinos i Roztocze w obrębie Parków Narodowych pozwala przypuszczać, że słaby stan chemiczny wód podziemnych w małym stopniu wynika z działalności antropogenicznej.

8. 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 czy występowania biogenów i substancji toksycznych. W ramach grupy programów biotycznych w ZMŚP obecnie realizowany jest: monitoring epifitów nadrzewnych, uszkodzenia drzew i drzewostanów oraz fauny bezkręgowej. Celem tych programów jest monitoring organizmów żywych w odniesieniu do dynamiki zmian komponentów abiotycznych.

W roku hydrologicznym 2012 programy biotyczne były realizowane na wszystkich 9 Stacjach Bazowych ZMŚP. W niniejszym opracowaniu dokonano próby oceny wpływu warunków wilgotnościowych (na podstawie charakterystyki rocznej opadów atmosferycznych, zgodnie z ryc. 12) na wieloletnią zmienność stanu bioindykatorów na przykładzie Stacji Bazowej w Storkowie.

Epifity nadrzewne

Porosty należą do powszechnie stosowanych wskaźników zmian: zanieczyszczenia powietrza, warunków siedliskowych oraz struktury użytkowania terenu (Fałtynowicz 1995). Monitoring porostów ma na celu obserwację zmian zachodzących w środowisku pod wpływem różnych czynników naturalnych i antropogenicznych z wykorzystaniem porostów jako bio wskaźników. Realizowany jest na stałych powierzchniach badawczych poprzez obserwację zmian zachodzących we florze porostów i zmian w wielkości powierzchni ich plech. Do badań bioindykacyjnych wykorzystywany jest szereg gatunków o różnej formie morfologicznej plech. Kształt plechy porostu jest jednym z 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 skorupiatej (Szpikowski 2012).

W Stacji Bazowej w Storkowie w ciągu 12 lat badań porostów w zlewni górnej Parsęty nastąpiło ograniczenie stanowisk badawczych zarówno z przyczyn antropogenicznych - wycięte drzewa jak i naturalnych – powierzchnie zarosłe mszakami. Dodatkowym zagrożeniem dla kolejnych dwóch powierzchni jest pęknięcie i łuszczenie kory drzew. Łuszczenie i odpadanie kory drzew a wraz z nią plech porostów jest 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 2012 roku w zlewni górnej Parsęty zaobserwowano znaczne zmniejszenie powierzchni plech trzech gatunków a mianowicie: *Evernia prunastri* (27,7%), *Hypogymnia physodes* (45,8%) oraz *Parmelia submontana* (18,7%). W zauważalnym stopniu po raz pierwszy spadła całkowita powierzchnia *Pertusaria amara*, skorupiatego gatunku, wykazującego się do tej pory dużą ekspansywnością. O niemal 40% wzrosła powierzchnia krzaczkowatego *Ramalina farinacea*. Powierzchnia trzech pozostałych gatunków: *Melanelia fuliginosa*, *Parmelia sulcata* i *Phlyctis argena* pozostała praktycznie bez zmian (Domańska 2013). W związku z trudną interpretacją dynamiki zmian powierzchni porostów podjęto próbę jej odniesienia do warunków opadowych w poszczególnych latach badawczych (ryc. 30).

Analizując rozkład roczny zmian powierzchni plech porostów na badanych powierzchniach w odniesieniu do zmian warunków wilgotnościowych nie stwierdzono wyraźnej prawidłowości zmian w odniesieniu do ilości wody dostarczonej wraz z opadem atmosferycznym. W związku z powyższym wydaje się że warunki wilgotnościowe nie stanowią najważniejszego bodźca zmian wielkości plech, zarówno wrażliwych na zmiany środowiskowe porostów krzaczkowatych (np. *Parmelia submontana*, *Pseudevernia furfuracea*, *Ramalina farinacea*) i listkowatych (np. *Parmelia submontana*, *Platismatia glauca*) jak i bardziej odpornych porostów skorupiatych (np. *Pertusaria amara*, *Phlyctis argena*).

Porosty monitorowane w Storkowie i na pozostałych Stacjach Bazowych ZMŚP są wrażliwe na różnorodne bodźce środowiskowe, np. przyczyny antropogeniczne – oddziaływanie kwasogennych czynników zawartych w opadach atmosferycznych, wycinka drzew, przyczyny naturalne – łuszczenie kory drzewa, wkraczanie mszaków, warunki pogodowe itp. Od początku badań monitoringu porostów powierzchnia plech gatunków krzaczkowatych spada we wszystkich Stacjach Bazowych, niezależnie od zmian warunków wilgotnościowych czy presji antropogenicznej. Utrudnia to jednoznaczne wykorzystywanie tych bioindykatorów do oceny stanu geoekosystemów. Generalna tendencja rejestrowana niemal we wszystkich Stacjach Bazowych, polegająca na zmniejszaniu plech porostów

najbardziej wrażliwych, a wręcz zanik wielu gatunków na powierzchniach testowych stoi w sprzeczności z faktami poprawy jakości powietrza i opadów atmosferycznych (Szpikowski 2012). Przy braku jednoznacznych standardów wskaźnikowych nawet długie serie pomiarowe są bardzo trudne do wnioskowania. Dlatego celowa jest poprawy metodyki interpretacji tego biowskaźnika do analiz zmian środowiska przyrodniczego.



Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Klasa opadowa	Wilgotny ↑	Suchy ↓	Normalny ↕	Suchy ↓	Suchy ↓	Wilgotny ↑	Normalny ↕	Normalny ↕	Wilgotny ↑	Suchy ↓	Normalny ↕

Ryc. 30 Zmiany powierzchni plech porostów na wszystkich stanowiskach monitoringowych w Storkowie latach 2002 – 2012 (wartości wyrażone w % w stosunku do stanu zerowego – pierwszy rok obserwacji (2001) wartość 0%), (Domańska 2013, zmienione) w odniesieniu do rocznej klasyfikacji opadów atmosferycznych.

Fauna epigeiczna

Celem programu fauna epigeiczna jest wykorzystanie bezkręgowców, jako bioindykatorów zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym. Bogactwo gatunków, różnorodność związków i zależności łączących je z innymi organizmami, a także obecność we wszystkich typach środowiska lądowego pozwala wykorzystać bezkręgowce, jako wskaźniki zmian zachodzących w badanych geoekosystemach. Monitoring chrząszczy z rodziny biegaczowatych *Carabidae* na Stacjach Bazowych funkcjonuje na większości Stacji od 2004 roku. Wskazanie bioindykacyjnych predyspozycji monitoringu biegaczowatych jest przedmiotem oddzielnego sprawozdania autorstwa specjalisty w programie O1 ZMŚP prof. dr hab. Stanisława Huruka. Badania wskazują generalnie na dobry stan środowiska geoekosystemów ZMŚP. Zróżnicowanie pomiędzy Stacjami wskaźników łożności, różnorodności i równomierności są uwarunkowane naturalnym zróżnicowaniem ekosystemów leśnych monitorowanych powierzchni. Wyniki tego specjalistycznego monitoringu są prezentowane w odrębnym sprawozdaniu, jednak krótka seria pomiarowa i niejednoznaczne interpretacje jak dotychczas utrudniają wykorzystanie go do oceny stanu środowiska zlewni (Szpikowski 2012).

W niniejszym opracowaniu dokonano próby oceny wpływu opadów atmosferycznych (na podstawie charakterystyki rocznej opadów atmosferycznych, zgodnie z ryc. 12) na wieloletnią zmienność wskaźników fauny epigeicznej na przykładzie Stacji Bazowej w Storkowie (tab. 16). Interpretacja wskaźników fauny epigeicznej w odniesieniu do ilości wody dostarczanej do badanych zlewni wraz z opadem atmosferycznym nie jest łatwa i jednoznaczna. Na powierzchni testowej w borze świeżym można zauważyć wyższe wartości łożności a zwłaszcza wskaźnika różnorodności gatunków biegaczowatych w latach wilgotnych niż w latach suchych. Można zatem ogólnie założyć, że opady atmosferyczne i ilość wody krążącej w geoekosystemach mogą mieć wpływ na dynamikę tych bioindykatorów. Jednakże zależność ta nie jest wprostproporcjonalna, czego przykładem był rok 2009, który pod względem opadowym był normalny i posiadał najwyższy wskaźnik łożności ale najniższy wskaźnik różnorodności. Powyższe prawidłowości nie są już tak jednoznaczne na powierzchni w borze mieszanym świeżym, co potwierdza konieczność wypracowania odpowiedniej metody interpretacji bioindykatora *Carabidae*.

Tab. 16. Zmiany wskaźników fauny biegaczowatej w Storkowie latach 2005 – 2012 w odniesieniu do rocznej klasyfikacji opadów atmosferycznych (2 powierzchnie badawcze). Kursywą zaznaczono wyniki z powierzchni w borze mieszanym świeżym, brak kursywy powierzchnia w borze świeżym.

element	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012
wskaźnik łożności	0,21 <i>0,35</i>	0,27 <i>0,22</i>	0,30 <i>0,17</i>	0,38 <i>0,18</i>	0,23 <i>0,10</i>	0,23 <i>0,07</i>	0,25 <i>0,14</i>
wskaźnik różnorodności Shanonna-Weavera	1,65 <i>1,63</i>	1,63 <i>0,76</i>	1,73 <i>0,61</i>	0,07 <i>0,65</i>	1,70 <i>1,88</i>	1,56 <i>1,46</i>	1,60 <i>2,07</i>
Suma opadów atmosferycznych [mm]	652,0	573,0	868,7	726,0	871,7	616,1	709,5
Klasa opadowa	Suchy ↓	Suchy ↓	Wilgotny ↑	Normalny ↑↓	Wilgotny ↑	Suchy ↓	Normalny ↑↓

9. OCENA STANU GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI W ROKU 2012 NA TLE LAT 1994-2011

- W 2012 roku hydrologicznym program ZMŚP realizowany był w dziewięciu Stacjach Bazowych, które znajdowały się w różnych strefach krajobrazowych kraju. Funkcjonowanie zlewni reprezentatywnych uczestniczących w programie ZMŚP podlega różnym czynnikom naturalnym i antropogenicznym, np. w strefie nizinnej młodoglacjalnej położone są Stacje o odmiennych uwarunkowaniach lokalnych decydujących o stanie środowiska przyrodniczego – Biała Góra (duże znaczenie Morza Bałtyckiego w dynamice obiegu wody i substancji rozpuszczonych, np. aerozole morskie), Storkowo i Puszcza Borecka (względnie niska antropopresja) i Koniczynka (bardzo duża antropopresja związana z funkcjonowaniem zmeliorowanej zlewni o użytkowaniu rolniczym).
- Funkcjonowanie zlewni badawczych ZMŚP położonych w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej uwarunkowane było przede wszystkim obiegiem energii wody i przepływem materii rozpuszczonej. Rok 2012 odznaczał się dużym zróżnicowaniem przestrzennym dostawy wody. Pod względem ilości opadów był rokiem od suchego na południu Polski (Szymbark i Święty Krzyż), poprzez normalny (Storkowo, Wigry i Koniczynka, Szymbark) do wilgotnego (Kampinos i Puszcza Borecka). W 2012 roku kontynuowana była odbudowa retencja wody w zlewniach badawczych, której niedobór opadów (niski wskaźnik WTO) występował w latach 2002-2006.
- O obiegu materii w monitorowanych geoekosystemach decyduje ładunek zanieczyszczeń wraz z depozycją atmosferyczną. W 2012 roku w odniesieniu do roku poprzedniego stężenia NO_2 i SO_2 cechowały się bardzo dużym zróżnicowaniem przestrzennym. W Stacjach Bazowych Biała Góra, Szymbark i Święty Krzyż odnotowano spadek stężenia zanieczyszczeń związkami azotu i siarki. Z kolei w Puszczy Boreckiej i Kampinosie stężenia monitorowanych zanieczyszczeń powietrza były wyższe niż w roku 2011. Natomiast w Koniczynce, Wigrach i Storkowie odnotowano niższe stężenia związków azotu a wyższe siarki. Jednakże w żadnej Stacji dla średniego rocznego stężenia zanieczyszczeń powietrza wartości normatywne nie zostały przekroczone.
- Ładunek zanieczyszczeń wnoszony do zlewni z opadami atmosferycznymi odgrywał najważniejszą rolę w kształtowaniu obiegu wody i zanieczyszczeń. W roku hydrologicznym 2012 największą wartość depozycji z opadami atmosferycznymi odnotowano na stacjach Kampinos i Święty Krzyż oraz Wigry. 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. Zastanawiający jest wzrost mineralizacji i odczynu opadów w Wigrach, który świadczy o zwiększonej dostawie zanieczyszczeń. W roku 2012 wartości wskaźnika pH opadów atmosferycznych spadły (oprócz Szymbarku) w porównaniu z rokiem poprzednim. Oznacza to, że rosnący od kilku lat udział w opadach atmosferycznych opadów o odczynie normalnym w stosunku do udziału opadów o odczynie znacznie obniżonym zmierza w niekorzystnym kierunku. W roku 2012 potwierdzona została tendencja do większej roli tlenków azotu niż dwutlenku siarki w zakwaszaniu opadów atmosferycznych - wskaźnika udziału czynników kwasogennych,

- zwiększa swoją wartość od połowy lat 90. W podsumowaniu jakości wód opadowych można uznać, że w ostatnich 13 latach następuje poprawa jakości wód opadowych.
- Potwierdzeniem dobrego stanu jakości wód krążących w zlewniach badawczych jest dobry chemicznie stan wód podziemnych (dla wybranych elementów) w większości Stacji. Dobry stan chemiczny dotyczył głównie wód monitorowanych w głębszych poziomach wodonośnych i o niskiej antropopresji (np. Biała Góra, Puszcza Borecka). Słaby stan chemiczny stwierdzono w zlewniach o znacznej ingerencji człowieka (np. Konieczynka) i dotyczył on głównie wód młodych, pochodzących z płytkich poziomów, które mają kontakt z zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego. Stężenia większości badanych związków chemicznych w wodach podziemnych w roku 2012 były zbliżone do wartości średnich z wielolecia, co świadczy o stabilnym składzie chemicznym wód podziemnych w badanych geoekosystemach.
 - Wody powierzchniowe (rzeki) w 2012 roku pod względem wybranych wskaźników fizykochemicznych zakwalifikować można od klas o bardzo dobrym i dobrym stanie ekologicznym. Do klasy poniżej stanu dobrego zakwalifikowano 2 cieki: C6 na Świętym Krzyżu oraz Lewińską Strugę na wyspie Wolin. Na Świętym Krzyżu o złej jakości wody rzecznej zadecydowała niska wartość odczynu wody (pH 5,40) i silne jej zakwaszenie. Natomiast w Lewińskiej Strudze występowały złe warunki natlenienia, wynikające głównie ze specyfiki obiegu wody w systemie rzeczno-jeziornym Lewińskiej Strugi a nie z zanieczyszczeniami antropogenicznymi, np. pochodzenia rolniczego.
 - W wodach podziemnych i powierzchniowych niestety brak wyraźnej tendencji do spadku stężeń związków azotu co może oznaczać, że stanowią one potencjalnie zagrożenie eutrofizacji wód. Działaniem zapobiegawczym jest w tym przypadku zachowanie stref nadrzecznych i przyjeziornych z naturalnymi strefami roślinności, w których zachodzi proces redukcji biogenów.
 - O dobrym stanie wód rzecznych w 2012 roku świadczy brak zagrożenia monitorowanych cieków wzmożoną eutrofizacją. Jedynie w użytkowanej rolniczo zlewni Strugi Toruńskiej wartości graniczne stężenia azotu azotanowego zostały przekroczone. Jednakże stężenia N-NO₃ w Strudze Toruńskiej wykazują w ostatnich latach pozytywny trend spadkowy. Specyficzna sytuacja występuje w monitorowanych jeziorach. W dwóch z trzech jezior stwierdzono przekroczenia norm stężenia fosforu ogólnego i zagrożenie eutrofizacją. Taka sytuacja występuje w jeziorach Gardno i Łękuk. Należy podkreślić, że przekroczenie wartości granicznych stężeń fosforu w jeziorach Gardno i Łękuk wynika przede wszystkim z naturalnych, lokalnych uwarunkowań przyrodniczych a nie są spowodowane dostawą zanieczyszczeń antropogenicznych, zwłaszcza pochodzenia rolniczego. Należy zaznaczyć, że w Jeziorze Gardno stężenie Pog. w 2012 roku były niższe niż w 2011 roku.
 - Wieloletnie badania ilościowe i jakościowe wód krążących w zlewniach rzecznych i jeziornych ZMŚP potwierdzają występowanie tendencji spadkowej stężeń jonów siarczanowych. Związane jest to przede wszystkim z spadkiem stężeń SO₂ w powietrzu i opadach atmosferycznych.
 - Ze względu na nierówne serie pomiarowe i stosunkowo małą licznosc Stacji Bazowych ZMŚP w poszczególnych strefach krajobrazowych Polski dokonanie analizy regionalnej stanu środowiska przyrodniczego jest utrudnione, aczkolwiek w przypadku analizy

niektórych wskaźników, np. stężeń (udziału) w opadach atmosferycznych jonów pochodzenia morskiego (Cl, Na) możliwa jest regionalizacja jakości opadów atmosferycznych w transekcie południkowym i równoleżnikowym w Polsce.

- Analiza bioindykatorów analizowanych w ramach ZMSP wykazała konieczność poprawy metodyki interpretacji wyników monitoringu biotycznego. Konieczne jest wprowadzenie do badań bioindykatorów hydrobiologicznych, np. chrzączek zgodnie Polskim Indekssem Biotycznym.
- W oparciu o prawie 20. letni okres funkcjonowania ZMŚP wydaje się, że największe znaczenie na stan i zmienność środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski wywierają czynniki antropogeniczne o znaczeniu: regionalnym (np. dostawa zanieczyszczeń atmosferycznych spoza zlewni badawczych) i lokalnym (np. zmiany użytkowania terenu zlewni ZMŚP). Uwarunkowania fizycznogeograficzne wynikające z lokalizacji zlewni ZMŚP w poszczególnych strefach krajobrazowych Polski mogą mieć ważne aczkolwiek drugorzędne znaczenie w przypadku określenia potencjalnych źródeł zagrożeń funkcjonowania środowiska przyrodniczego.
- Posiadając w ramach ZMŚP wieloletnie ciągi pomiarowe, których wyniki umieszczone są w Bazie Danych ZMŚP celowe jest uwzględnienie modeli prognostycznych zmian funkcjonowania wybranych elementów środowiska przyrodniczego. Szczególnie przydatne byłoby zastosowanie prognoz w wybranych interwałach czasowych (np. 10, 30 lat) zmian elementów obiegu wody, np. opadów, odpływów ze zlewni w kontekście transformacji składu chemicznego wód i migracji związków kwasotwórczych (np. S-SO₄, N-NO₃) i biogenów (związki azotu, fosforu). Stacje Bazowe ZMŚP są przygotowane do realizacji modelowania zmian środowiska w swoich zlewniach, gdyż otrzymały odpowiednie narzędzia do wykonania modelowania na szkołach specjalistycznych ZMŚP.
- Bardzo istotne dla zachowania walorów przyrodniczych geoekosystemów Polski jest jak najszybsze wdrożenie na Stacjach Bazowych zadań związanych ze świadczeniami geoekosystemów. Wartościowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach ZMŚP pozwoli na wypracowanie metodyki wyceny zasobów środowiska przyrodniczego w innych geoekosystemach Polski.
- Program ZMŚP posiada znaczenie dla ochrony zasobów przyrodniczych Polski. Siedem spośród zlewni badawczych Stacji ZMŚP (poza Koniczynką i Szymbarkiem) leży w granicach obszarów specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000. Wyniki monitoringu są przydatne do podstawowych celów stawianych przed programem Natura 2000, czyli do ochrony dziedzictwa przyrodniczego Polski i prowadzenia zrównoważonego rozwoju.
- Wyniki badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego ukazujące kompleksowo stan środowiska przyrodniczego Polski powinny być przekazywane jednostkom zajmującym się ochroną środowiska, np. Regionalnym Dyrekcjom Ochrony Środowiska i Wojewódzkim Inspektoratom Ochrony Środowiska.

Literatura

- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1993: Agrometeorologia. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Bochenek W., Kijowska M., Kiszka K., 2013: Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Szymbark w roku hydrologicznym 2012. Szymbark, maszynopis.
- Domańska M., 2013: Epifity nadrzewne, uszkodzenia drzewostanów, fauna epigeiczna. [W:] Kostrzewski A., Domańska M., Kruszyk R., Majewski M., Szpikowska G., Szpikowski J., Zwolinski Z., 2013a: Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2012. Storkowo – Poznań, maszynopis.
- 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.
- Grodzińska, K., Laskowski, R., 1996: Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa). Bibl. Monit. Środ. Warszawa.
- Herbich J., 2003: Dyrektywa Siedliskowa – założenia, realizacja, perspektywy. Parki Narodowe, 2, 3-8.
- Isidorow W., Jaroszyńska J. 1998. Chemiczne problemy ekologii, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
- Jansen W., Block A., Knaack J. 1988. Kwaśne deszcze, Historia, powstawanie, skutki. [W:] Aura 4: 18-19.
- Jóźwiak M., 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., 2013: Raport za rok hydrologiczny 2012. 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://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan98/stan98.html>
- 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., Majewski M., Szpikowska G., Szpikowski J., Zwolinski Z., 2013a: Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2012. Storkowo – Poznań, maszynopis.
- Kostrzewski A., Tylkowski J., Samołyk M., Ścisłowska P., Winowski M., 2013b: Raport Stacji Bazowej ZMŚP Biała Górtka za rok 2012. Biała Góra, maszynopis.
- Kostrzewski A., Szpikowski J., Szpikowska G., Domańska M., Kruszyk R., Tylkowski J., 2007. Ocena stanu środowiska geograficznego zlewni górnej Parsęty na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 1994-2006. W: A. Kostrzewski, A. Andrzejewska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska przyrodniczego a zadania ochrony Obszarów Natura 2000. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 161-174.
- Kostrzewski, A., Mazurek, M., Stach, A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego - Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
- Kruszyk R., 2003: Stan geoekosystemów Polski w 2002 roku.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2002/stan2002.html>
- Kruszyk R., 2004: Stan geoekosystemów Polski w roku 2003.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2003/stan2003.html>

- Kruszyk R., 2005: Stan geoekosystemów Polski w roku 2004.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2004/stan2004.html>
- Kruszyk R., 2006: Stan geoekosystemów Polski w roku 2005.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2005/stan2005.html>
- Kruszyk R., 2009: Raport o stanie geoekosystemów Polski w roku 2008.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2008/stan2008.html>
- Kruszyk R., 2010: Stan geoekosystemów Polski w roku 2009.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2009/stan2009.html>
- Krzysztofiak L., Mackiewicz A., Romański M., Krzysztofiak A., Janecki T., 2013: Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Wigry w roku hydrologicznym 2012. 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://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2006/stan2006.html>
- Major M., 2008: Stan geoekosystemów Polski w roku 2007.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2007/stan2007.html>
- Major M., 2009: Charakter i funkcjonowanie zagłębień bezodpływowych w krajobrazie strefy młodoglacjalnej (Pomorze Zachodnie). Wyd. PTPN, Wyd. Mat.-Przyr., Prace Kom. Geograf-Geolog., t. 40, Poznań.
- 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://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan99/stan99.html>
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2001: Stan geoekosystemów Polski w roku 2000.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2000/stan2000.html>
- Mazurek M., Zwoliński Z., 2002: Stan geoekosystemów Polski w roku 2001.
<http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2001/stan2001.html>
- 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., Degórska A., Sawicka-Kapusta K., Skłodowski J., Tarłowski A., Wierzbicki A., Zakrzewska M., 2013. Raport o stanie środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP „Kampinos” w roku 2012. Granica, maszynopis.
- Rauba M., 2009: Zawartość związków azotu i fosforu w wodach gruntowych zlewni użytkowanej rolniczo na przykładzie zlewni rzeki Śliny. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 40: 505-512.
- 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. Dziennik Ustaw Nr 162, poz. 1008.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska 2008b: Z Dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie klasyfikacji zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. Dziennik Ustaw Nr 143, poz. 896.
- Rynkiewicz A., 2007. Problemy eutrofizacji wód w Polsce i ich ograniczanie w sposób naturalny. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Poznań.
- Sapek A., 2009: Współczesne źródła chlorków w środowisku wód śródlądowych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 40, 455-464.

- Stachyra P, Grabowski T., Kaszewski B.M., 2013: Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Roztocze Roztoczańskiego Parku Narodowego w roku 2012. Zwierzyniec, maszynopis.
- Śnieżek T., Białoskórska U., Degórska A., Prządka Z., Skotak K., Typiak-Nowak D., Delis M., Gierczak J.A., Jońca Z., Kostrzewa J., Lange J., Huruk S., Sawicka-Kapusta K., 2013. Ocena stanu środowiska Stacji Bazowej ZMŚP Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2012. Warszawa, maszynopis.
- Szpikowska, G., 2004: Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodogłacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). [W:] Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów w warunkach narastającej antropopresji, M. Kejna, J. Uscka (Red.). Bibl. Monit. Środ.: 167-176.
- Szpikowska G., 2011. Uwarunkowania i zmienność chemizmu wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta). [W:] A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Vol. XXVIII, Biała Góra: 173-186.
- Szpikowska, G., Tylkowski, J., 2006: Denudation balance of the Upper Parsęta catchment in the years 2000-2004. Quaestiones Geographicae 25A, Series A, Wydawnictwo Naukowe UAM: 75-82.
- Szpikowski J., 2011: Stan geoekosystemów Polski w roku 2010 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). <http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2010/ZMSP2010b.pdf>
- Szpikowski J., 2012: Stan geoekosystemów Polski w roku 2011 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów). <http://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan2011/ZMSP2011.pdf>
- Tylkowski, J., 2005: Sezony transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania rzek Pobrzeża Bałtyku. [W:] Plejstoceńskie i holocenne przemiany środowiska przyrodniczego Polski, K. Borówka (Red.), US, INoM, PTG, Szczecin: 58-62.
- 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://www.staff.amu.edu.pl/~zmsp/stan96/stan96.html>
- 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 Łękek 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.