Dr hab. Józef Szpikowski
Stacja Geoekologiczna UAM w Storkowie
Instytut Geoekologii i Geoinformacji
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu
szpiko@amu.edu.pl

Stan geoekosystemów Polski w roku 2011 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

(z wykorzystaniem wybranych geoindykatorów)

Storkowo 2012

1. Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie zostało wykonane w ramach realizacji umowy z dnia 12.11.2009, zawartej pomiędzy Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie a Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, na „Realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2009-2011". Opracowanie dotyczy 7. etapu niniejszej umowy – „Opracowanie corocznych sprawozdań stan geoekosystemów Polski". Celem opracowania jest określenie stanu geoekosystemów Polski w roku 2011 na tle danych wieloletnich. Podstawę opracowania stanowią raporty Stacji Bazowych ZMŚP za rok 2011 i z lat wcześniejszych oraz dane zgromadzone w Centralnej Bazie Danych ZMŚP za lata 1994-2011.

Według przyjętych założeń przedmiotem badań ZMŚP jest przestrzeń przyrodnicza składająca się z następujących podsystemów: atmosfera, biosfera, pedosfera, litosfera, hydrosfera i antroposfera. Całościowe ujęcie przepływu energii i obiegu materii w badanych geoekosystemach umożliwia przyjęcie podstawowej jednostki przestrzennej w badaniach przyrodniczych, jaką stanowi zlewnia rzeczna lub jeziorna (Kostrzewski 1993, Kostrzewski i inni 1995). Metodologia programu ZMŚP podporządkowana jest kompleksowemu ujęciu funkcjonowania środowiska przyrodniczego (Kostrzewski 1995). Przyjęte cele badawcze są realizowane w trzech głównych aspektach:

- bilansu energii i materii w układzie zlewni rzecznej lub jeziornej,
- przepływu materii w profilu: atmosfera – roślinność – gleba,
- monitoringu wybranych biotycznych elementów geoekosystemu za pomocą określonych biowskaźników.

Na podstawie tej metodologii i metodyki badawczej sporządzane były w ostatnich latach syntezy o stanie geoekosystemów Polski (Kruszyk 2004, 2005, 2006, Major 2007, 2008, Kruszyk 2009, 2010). Należy przy tym zaznaczyć, iż oparcie syntezy o podstawowe prawidłowości obiegu materii i energii w geoekosystemach stanowiło wyraźny postęp w stosunku do pierwszych zestawień, polegających głównie na komentowaniu wyników uzyskanych przez Stacje Bazowe w ramach realizacji poszczególnych programów badawczych (Zwoliński 1997, Kolander 1999, Mazurek, Zwoliński 2000, Mazurek, Zwoliński 2001, 2002, Kruszyk 2003).

Niewątpliwie ten jakościowy postęp w interpretacji danych umożliwiało uzyskiwanie coraz dłuższych serii pomiarowych, standaryzacja i rozszerzanie zakresu pomiarowego w Stacjach Bazowych oraz rozbudowanie bazy danych.

Wychodząc z założenia, że synteza o stanie geoekosystemów Polski winna zawierać wnioski pozwalające na uzyskanie bardziej kompleksowych informacji o aktualnym stanie, zagrożeniach i trendach rozwoju środowiska geograficznego, raport za rok 2011, podobnie jak raport za rok 2010, został sporządzony w oparciu o wybrane geowskaźniki. Założenia, aby całościowe oceny stanu środowiska przyrodniczego sporządzane były o jak najbardziej obiektywne, ilościowo-jakościowe dane są przyjęte w zasadach programowych ZMŚP (Kostrzewski 1995). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, w odróżnieniu od monitoringów branżowych, winien dostarczyć kompleksowych informacji, nie tylko w ramach wybranych programów pomiarowych, lecz przede wszystkim o związkach przyczynowo-skutkowych i rezultatach ich oddziaływania na środowisko geograficzne. Syntezę o stanie geoekosystemów Polski w roku 2011 ujęto również w podobny, kompleksowy sposób, oparty na interpretacji wybranych geowskaźników.

Współczesny warsztat badawczy daje niezwykle duże możliwości uzyskiwania danych ilościowych o środowisku. Nadal nie wszystkie z nich potrafimy w pełni wykorzystywać i interpretować. Często na przeszkodzie (dotyczy to również programu ZMŚP realizowanego w Stacjach Bazowych) stoją ciągle zbyt krótkie serie pomiarowe. Z tym problemem mierzymy się np. przy próbach interpretacji wyników otrzymywanych poprzez bioindykatory (wielość i stan plech porostów, metale i siarka w porostach, fauna epigeiczna czy stan zdrowotności drzewostanów). Niemniej dane ilościowe są kluczem do 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 konkretne zagrożenia.

Koncepcja „geoindykatorów" (geowskaźników) została zaproponowana przez Międzynarodową Unię Geologiczną (IUNG) w roku 1992 (Zwoliński 1998). Stanowiła próbę ujednolicenia i uporządkowania różnorodnych wskaźników stosowanych szeroko w naukach geograficznych, a szczególnie w monitoringu i ochronie środowiska. Koncepcja IUNG dotyczyła w zasadzie wskaźników geologicznych, które jednakże poprzez dobór do konkretnych warunków przestrzeni geograficznej oraz czasu mają zastosowanie również do oceny środowiska abiotycznego. Z tego

względu listę 27 geoindykatorów wg IUNG można uznać jedynie za punkt wyjścia do przyjęcia geoindykatorów stosowanych w monitoringu środowiska przyrodniczego i przedstawienia propozycji wskaźników ilościowych jakości środowiska.

2. Zastosowane geowskaźniki i metody ich obliczania

W tym opracowaniu wykorzystano kilka geowskaźników, których opis jest zamieszczono poniżej.

Wskaźnik termiczno-opadowy – Klasyfikacja termiczno-opadowa jest stosowana w opracowaniach raportów przez Stacje Bazowe. Została zastosowana w roku 1996 w Stacji Bazowej w Storkowie, jako rozwinięcie klasyfikacji opadowej wg Kaczorowskiej z roku 1962 (Szpikowski 1997). Klasyfikacja ta została następnie dostosowana do potrzeb programu ZMŚP (Lorenc 1998) i wprowadzona do stosowania przez Stacje Bazowe przy opracowywaniu warunków meteorologicznych. Klasyfikacja ta ustala warunki meteorologiczne na ogólnym, ale bardzo ważnym poziomie stosunków opadowych oraz termicznych. Może być stosowana zarówno dla roku pomiarowego jak i dla okresów krótszych, np. miesięcznych.

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. 1).

Tabela 1. Klasyfikacja opadowa roku wg Kaczorowskiej (Lorenc 1998)

nr klasy	procent wieloletniej średniej rocznej sumy opadu w stosunku do sumy opadu z wielolecia [%]	klasa opadowa roku
1	>50	skrajnie suchy
2	50-74	bardzo suchy
3	75-89	suchy
4	90-110	normalny
5	111-125	wilgotny
6	126-150	bardzo wilgotny
7	<150	skrajnie wilgotny

Dla temperatury powietrza zastosowano podział na klasy oparty o zmienność średniej rocznej temperatury powietrza (T) w stosunku do wartości odchylenia standardowego dla średniej rocznej temperatury z wielolecia (t) (tab. 2).

Tabela 2. Klasyfikacja termiczna roku wg Lorenc (1998)

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

Wskaźnik tendencji opadowych – Wskaźnik ten został opracowany w Stacji Bazowej w Storkowie (Szpikowski 2006). Był przedstawiony i dyskutowany podczas Szkoły ZMŚP w Białej Górze w roku 2007. Potrzeba wprowadzenia wskaźnika, który ujmowałby warunki opadowe w dłuższym okresie czasu, a zarazem w odniesieniu do lokalnych uśrednionych stosunków opadowych, wynika stąd, iż wielkość i rozkład czasowy opadów atmosferycznych ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania i stanu środowiska geograficznego zlewni. W głównej mierze wielkość i czasowy rozkład opadów decyduje o krążeniu wody w geoekosystemie. Analiza warunków opadowych winna być oparta na danych wieloletnich. Bezwładność geoekosystemu zlewni rzecznej – szczególnie w przypadku zlewni młodoglacjalnych o małej zmienności odpływów w czasie - sprawia, że to właśnie długookresowe trendy opadowe decydują o zasilaniu, odnawianiu bądź naruszaniu zapasów wodnych retencjonowanych w zlewni i, w konsekwencji, np. o wielkości odprowadzanych ze zlewni ładunków soli rozpuszczonych, a w wielkiej mierze o stanie flory i fauny zlewni. Ocena jakiegokolwiek elementu środowiska geograficznego zlewni (abiotycznego i biotycznego), dla którego funkcjonowania istotna jest ilość wody (opadowej, powierzchniowej, glebowej, podziemnej) winna zatem uwzględniać

aktualną sytuację w odniesieniu do wieloletnich trendów opadowych. Proponowany wskaźnik tendencji opadowych (WTO) oparty jest na różnicach pomiędzy sumą opadu w kolejnym miesiącu, a średnią sumą opadu dla danego miesiąca z całego wielolecia obserwacyjnego. Po utworzeniu szeregu kumulacyjnego obliczonych różnic uzyskuje się ciąg wartości wskazujących na zachodzące w wieloleciu trendy opadowe.

Obliczenie WTO polega na:

- wyliczeniu średniej miesięcznej sumy opadu dla wielolecia,
- obliczeniu różnic pomiędzy sumą opadu w kolejnych miesiącach wielolecia, a sumą średnią opadu dla tego miesiąca z wielolecia (np. suma opadu z lipca 1999 minus średnia suma opadu dla lipca z wielolecia 1994-2010),
- utworzeniu szeregu kumulacyjnego obliczonych różnic dla kolejnych miesięcy w wieloleciu,
- graficznej prezentacji obliczonego wskaźnika dla każdego miesiąca w wieloleciu (np. na wykresie liniowym).

Jednostką obliczonego wskaźnika WTO są mm. Ważną informacją uzyskiwaną ze wskaźnika jest tendencja do obniżania się lub wzrostu wartości WTO

Klasyfikacja ph/SEC opadów atmosferycznych – Wskaźnik ten został zastosowany w raportach ze Stacji Bazowej Storkowo (Michalska 2000) na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej (Jansen i inni 1988). Ze względu na swą przydatność do oceny podstawowych, najważniejszych cech jakościowych opadów atmosferycznych, czyli odczynu i przewodności elektrolitycznej, został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w sprawozdaniach Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC ma dwie ważne cechy poglądowości, a mianowicie: po umieszczeniu na jednym wykresie danych z różnych Stacji Bazowych ukazuje zróżnicowanie jakościowe wód opadowych w różnych geoekosystemach Polski wg klasyfikacji Jansena i innych (1988), po umieszczeniu na jednym wykresie danych z wielolecia dla określonej Stacji obrazuje zachodzące zmiany czasowe jakości opadów.

W zakresie przewodności elektrolitycznej wskaźnik wprowadza zróżnicowanie na 6 klas jakościowych (tab. 3).

Tabela 3. Klasyfikacja wód opadowych pod względem wartości przewodności elektrolitycznej SEC (wg Jansena i innych 1988)

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

W odniesieniu do odczynu wody opadowej klasyfikacja ph/SEC opadów atmosferycznych wprowadza 5 klas jakościowych (tab. 4).

Tabela 4. Klasyfikacja wód opadowych pod względem wartości odczynu pH (wg Jansena i innych 1988)

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

Wskaźnik pH opadów atmosferycznych – Ten geoindykator został zaproponowany przez Szpikowskiego do opracowań sporządzanych w Stacji Bazowej w Storkowie w roku 2007 (Kostrzewski i inni 2007). Był również prezentowany podczas szkolenia ZMŚP w Białej Górze w roku 2007. Punktem wyjścia do obliczenia tego wskaźnika jest obliczenie częstości występowania opadów o określonym pH w danym roku (okresie) pomiarowym. Zgodnie z klasyfikacją (Jansen i inni 1988) oraz w nawiązaniu do metodyk ZMŚP (Śnieżek 2001) wyróżnia się opady o różnych klasach pH (tab. 4). Zasadnicze znacznie ma przy ocenie

jakości opadów atmosferycznych ich zakwaszenie, prowadzące w dalszej kolejności do negatywnych przemian w środowisku glebowym oraz roślinnym i zwierzęcym. Wskaźnik pH opadów atmosferycznych (W_{pH}) uwzględnia to poprzez wykazanie, jak przedstawia się dla danego okresu pomiarowego (roku) stosunek udziału opadów o pH silnie obniżonym do udziału opadów o pH normalnym. Mniejsza wartość liczbowa wskaźnika wskazuje na pozytywną zmianę i większy udział opadów czystych i nie zanieczyszczonych.

$W_{pH} = F\ P_{(pH<4,1)} / F\ P_{(pH\ 5,1\text{-}6,1)}$

W_{pH} – wskaźnik pH opadów atmosferycznych [-]

$F\ P_{(pH<4,1)}$ – frekwencja (roczna) opadów o pH silnie obniżonym [%]

$F\ P_{(pH\ 5,1\text{-}6,1)}$ – frekwencja (roczna) opadów o pH normalnym [%]

Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów. Ten wskaźnik został wprowadzony do raportów ZMŚP w Stacji Geoekologicznej w Storkowie przez Michalską w roku 2000 (Kostrzewski i inni 2007). Został zaakceptowany i zalecany do stosowania w opracowywanych corocznie 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 NOx w zakwaszaniu, natomiast wartość 1 dotyczy równocennego udziału SO_2 i NO_x w zakwaszaniu wód opadowych (Szpikowska 2011).

$WCK = SJ\ NO_3^- / SJ\ SO_4^{2-}$ [-]

WCK – wskaźnik czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów

$SJ\ NO_3^-$ - stężenie jonów NO_3^- [μ eq dm^{-3}]

$SJ\ SO_4^{2-}$ stężenie jonów SO_4^{2-} [μ 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.

Zaprezentowane geowskaźniki zostały wyznaczone na podstawie raportów Stacji Bazowych ZMŚP za rok 2011 (Jóźwiak i inni 2012, Kejna i inni 2012,

Bochenek, Kijowska, Kiszka 2012, Kostrzewski, Tylkowski, Samołyk 2012, Kostrzewski i inni 2012, Krzysztofiak i inni 2012, Olszewski i inni 2012, Śnieżek i inni 2012). W opracowaniu wykorzystano również dane pomiarowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych programu ZMŚP.

W podsumowaniu syntezy zawarto najważniejsze informacje o funkcjonowaniu wybranych geoekosystemów Polski w roku 2011, które obejmują kierunki zmian i ich charakter, najważniejsze zagrożenia oraz ocenę stanu środowiska przyrodniczego.

3. Zlewnie badawcze ZMŚP w roku 2011

Podstawowym obiektem badań w podsystemie ZMŚP jest zlewnia rzeczna lub jeziorna, w zasięgu której zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze i stanowiska pomiarowe ujmujące możliwie różne typy geoekosystemów badanego krajobrazu. Szeroki zakres komplementarnych badań stacjonarnych prowadzony jest wg standaryzowanych metod w obrębie 8 Stacji Bazowych (tabela 5, ryc. 1) w reprezentatywnych zlewniach rzecznych lub jeziornych. W funkcjonującym obecnie systemie pomiarowym Stacji Bazowych można wyróżnić transekt południkowy, który ujmuje równoleżnikowy układ głównych stref krajobrazowych Polski, jak i transekt równoleżnikowy, przebiegający przez strefę młodoglacjalną Polski północnej.

Wśród zlewni badawczych ZMŚP położonych w strefie młodoglacjalnej Niżu Polskiego są 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 spośród nich są w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie.

Zlewnia Jeziora Gardno reprezentuje geoekosystem nadmorski położony na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. O indywidualności położenia badanej zlewni decyduje jej nadmorskie położenie w bezpośrednim sąsiedztwie wybrzeża klifowego, bezodpływowość oraz pełne zalesienie drzewostanem - głównie bukowym. Zlewnia Jeziora Gardno w niewielkim 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 szkodliwych 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 najsurowsze warunki klimatyczne w całej nizinnej części kraju.

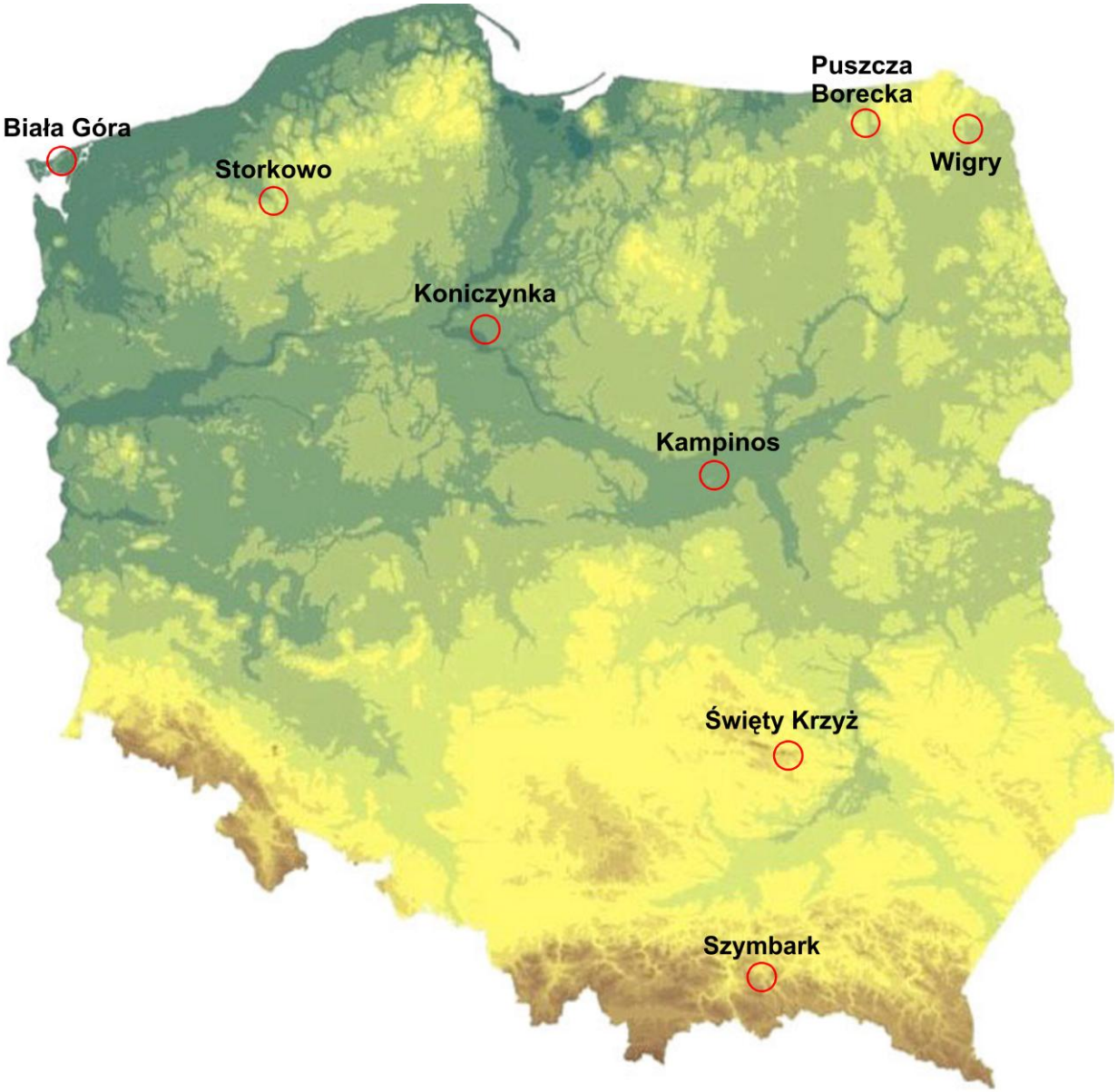
Szczególną uwagę w północnym pasie pojezierzy zwraca Stacja Bazowa Puszcza Borecka, gdzie przy braku większych lokalnych źródeł zanieczyszczeń, badania jakości powietrza i wód docierających do podłoża zlewni dostarczają informacji na temat dostawy i depozycji składników będących efektem transportu transgranicznego oraz ich wpływu na funkcjonowanie ekosystemów leśnych i jeziornych (Żarska i inni 1998).

Zlewnia Strugi Toruńskiej w Stacji Bazowej Koniczynka reprezentuje młodoglacjalny geoekosystem przeobrażony rolniczo, silnie zagrożony obszarowymi zanieczyszczeniami rolniczymi, zanieczyszczeniami powietrza z pobliskich szlaków komunikacyjnych oraz emitowanymi przez zakłady produkcyjne Torunia i Bydgoszczy. W krajobrazie zlewni dominują kompleksy pól uprawnych, na których prowadzona jest wielkołanowa i wysokotowarowa produkcja rolnicza. Cały obszar jest prawie bezleśny i silnie zmeliorowany (Wójcik, red. 1998).

W Stacji Bazowej Kampinos badana zlewnia Kanału Olszowieckiego położona jest w pasie rzeźby staroglacjalnej Puszczy Kampinoskiej, zajętej przez geoekosystem bagienno-łąkowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Obszar ten znajduje się pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych z Warszawy oraz zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego z Równiny Błońskiej (Wierzbicki 1998).

Tabela 5. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych

Zlewnia	Powierzchnia [km^2]	Zlewnia/dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Parsęta Młyński Potok	74,0 3,9	**Morze Bałtyckie** Parsęta	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Jez. Łękuk	13,3	Węgorapa/Pregoła	Kraina Wielkich Jezior	Pojezierze Mazurskie
Czarna Hańcza	7,4	Niemen	Równina Augustowska	Pojezierze Litewskie
Struga Toruńska	35,2	Wisła	Pojezierze Chełmińskie	Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie
Kanał Olszowiecki	20,2	Łasica/Wisła	Kotlina Warszawska	Nizina Środkowo-Mazowiecka
Zlewnia I rzędu	1,3	Kamienna/Wisła	Góry Świętokrzyskie	Wyżyna Kielecko-Sandomierska
Bystrzanka	13,0	Ropa/Wisła	Beskid Niski/Pogórze Ciężkowickie Doły Jasielsko-Sanockie	Beskidy Środkowe/Pogórze Środkowobeskidzkie
Jez. Gardno	2,6	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin	Pobrzeże Szczecińskie



Ryc. 1. Lokalizacja Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (stacje realizując program w roku 2011)

- Biała Góra (11ZM) - Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań,
- Storkowo (06ZM) - Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań,
- Puszcza Borecka (01ZM) - Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa,
- Wigry (05ZM) - Wigierski Park Narodowy, Krzywe,
- Koniczynka (07ZM) - Uniwersytet M. Kopernika, Toruń,
- Kampinos (08ZM) - Kampinoski Park Narodowy, Kampinos),
- Święty Krzyż (09ZM) - Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy, Kielce,
- Szymbark (10ZM) - Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Kraków.

Stacja Bazowa Święty Krzyż obejmuje badaniami zlewnię leśno-rolniczą I. rzędu w Górach Świętokrzyskich, w masywie Łysogór. Zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych jak i ponadregionalnych emisji przemysłowych, co spowodowało już niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych (Jóźwiak i inni 2006).

Stacja Bazowa Szymbark zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoekosystem Karpat Fliszowych, który narażony jest na zanieczyszczenia transgraniczne ze Słowacji, a obecnie w mniejszym stopniu z Gorlic (Gil, Bochenek 1998). Monitoring w Stacji Szymbark uwzględnia specyfikę wynikającą z piętrowości występowania i natężenia procesów oraz zjawisk przyrodniczych w górach, m.in. ruchów osuwiskowych i procesów erozji wodnej gleb. Ruchy masowe mają istotne znaczenie w kształtowaniu środowiska przyrodniczego Karpat, a zarazem stanowią duże zagrożenie dla działalności gospodarczej.

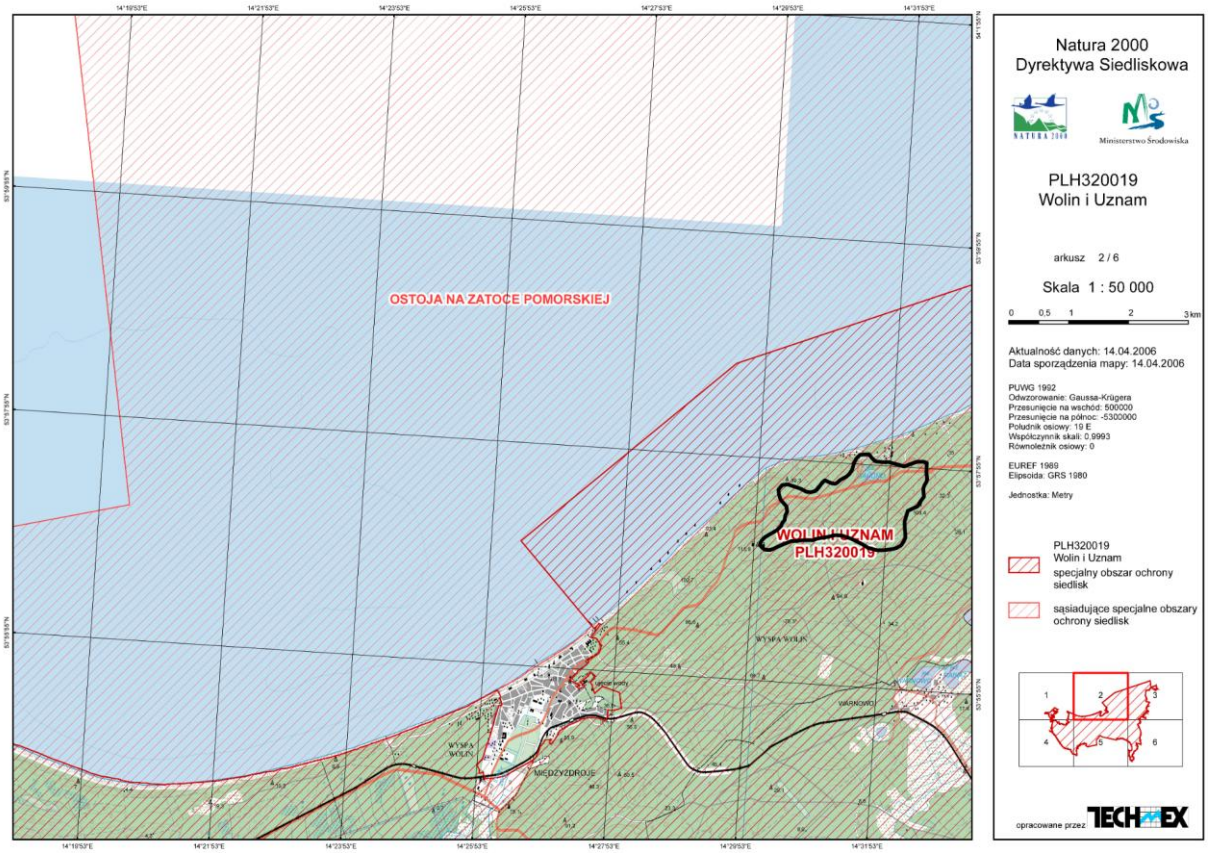
Stacja Bazowa Biała Góra realizuje program ZMSP dopiero od roku 2009, toteż praktycznie na razie nie można uzyskanych tam danych wykorzystać do obliczania wskaźników środowiskowych i porównywania z innymi Stacjami. Od listopada 2011 roku program ZMŚP będzie również realizowała Stacja Bazowa Roztocze Roztoczańskiego Parku Narodowego, co będzie bardzo istotne dla wprowadzenia do zintegrowanego monitoringu środowiska geograficznego typu krajobrazu reprezentującego wyżyny Polski południowej.

4. Zlewnie badawcze ZMŚP a program Natura 2000

Znaczna część zlewni badawczych Stacji Bazowych ZMŚP położonych jest na obszarach włączonych do sieci Natura 2000. Podnosi to znaczenie monitoringu prowadzonego w Stacjach Bazowych dla ochrony siedlisk przyrodniczych i dziko żyjącej fauny i flory jak i dla zachowania dobrych warunków dla ochrony dziko żyjących ptaków (Dyrektywa Ptasia oraz Dyrektywa 92/43/EWG, tzw. Dyrektywa Siedliskowa). Tym samym program ZMŚP może być wykorzystany do oceny stanu zachowania oraz ewentualnych zagrożeń siedlisk w programie Natura 2000.

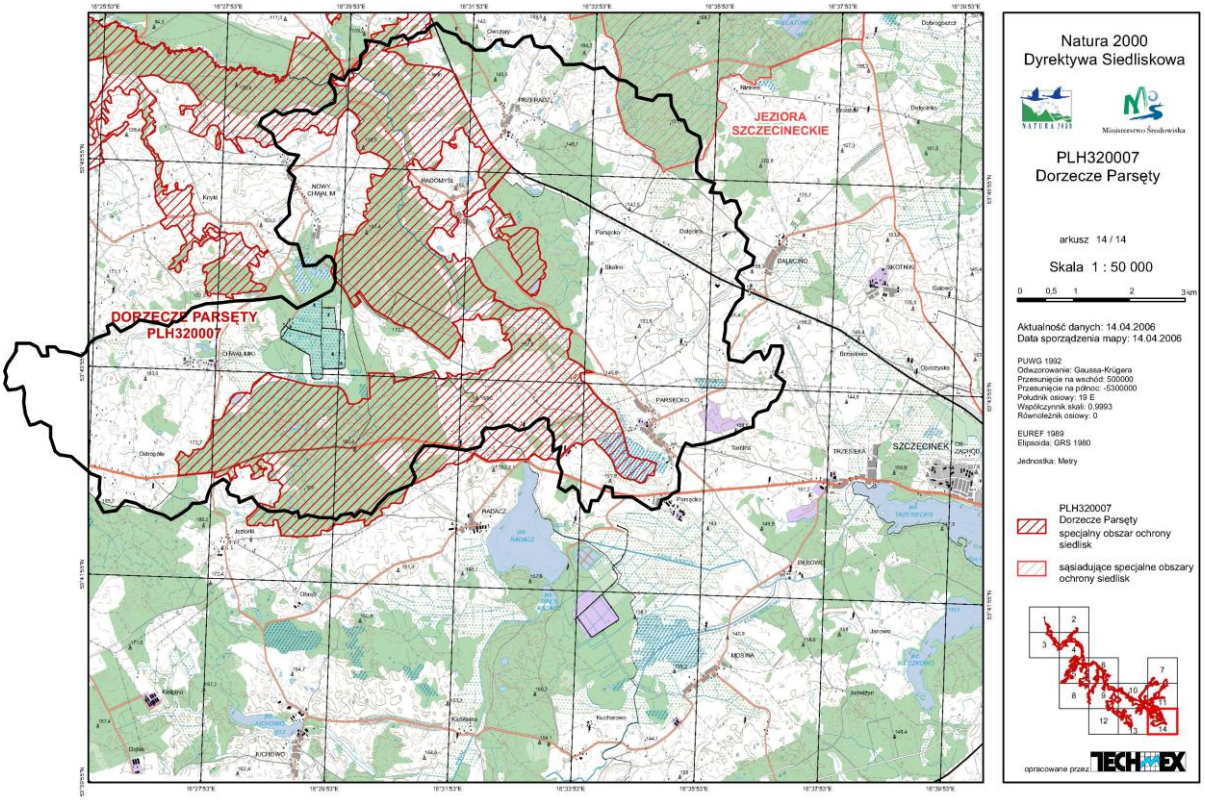
Spośród ośmiu Stacji Bazowych ZMŚP, omawianych w niniejszym raporcie, sześć jest położonych całkowicie, albo w znacznej części, na obszarach Natura 2000. Jedynie zlewnie Stacji Bazowych w Koniczynce oraz w Szymbarku są położone poza granicami obszarów Natura 2000.

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



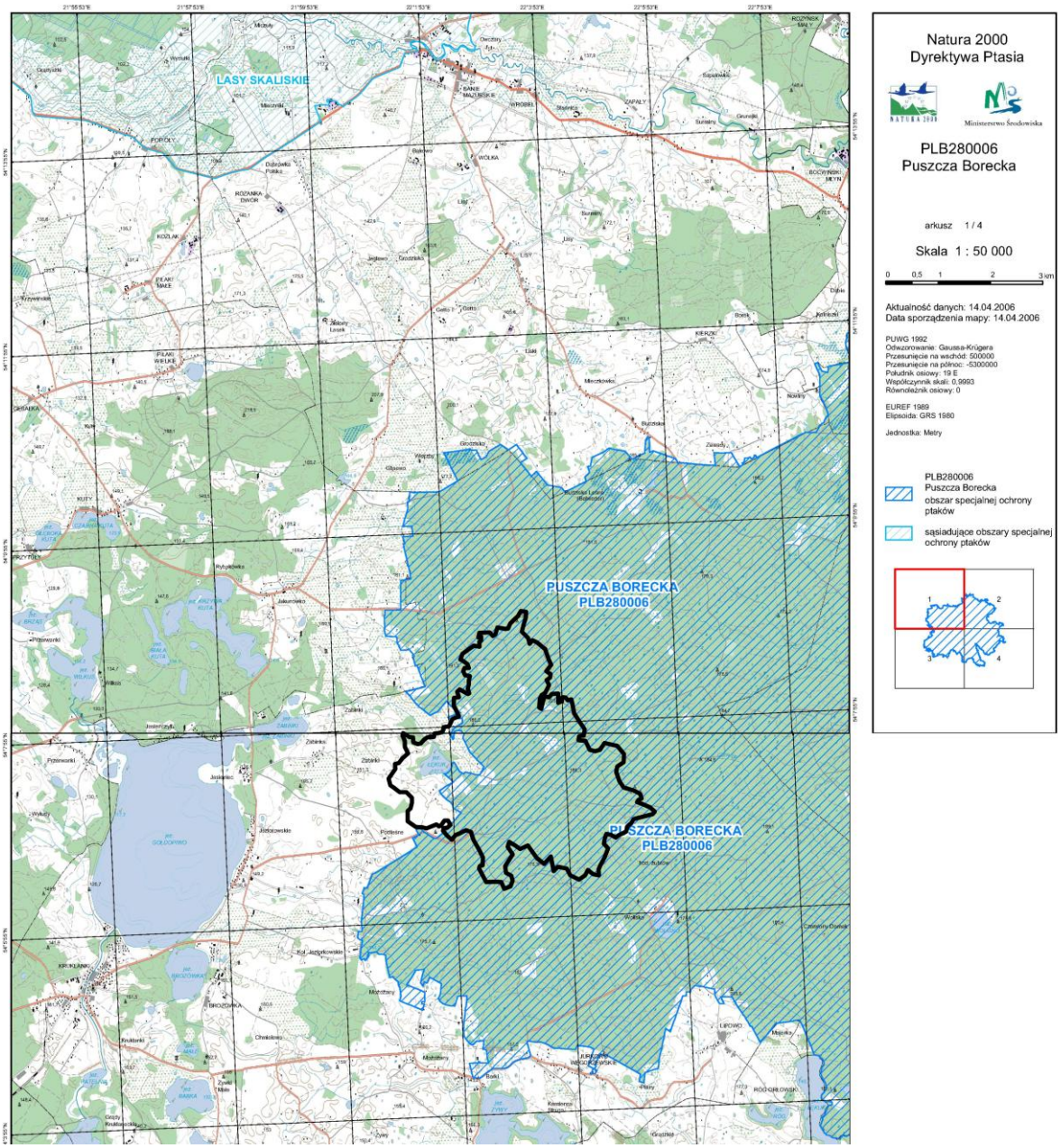
Ryc. 2. Położenie zlewni jeziora Gardno (granica zlewni zaznaczona czarną linią) w Stacji Bazowej w Białej Górze na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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



Ryc. 3. Położenie zlewni górnej Parsęty (granica zlewni zaznaczona czarną linią) w Stacji Bazowej w Storkowie na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

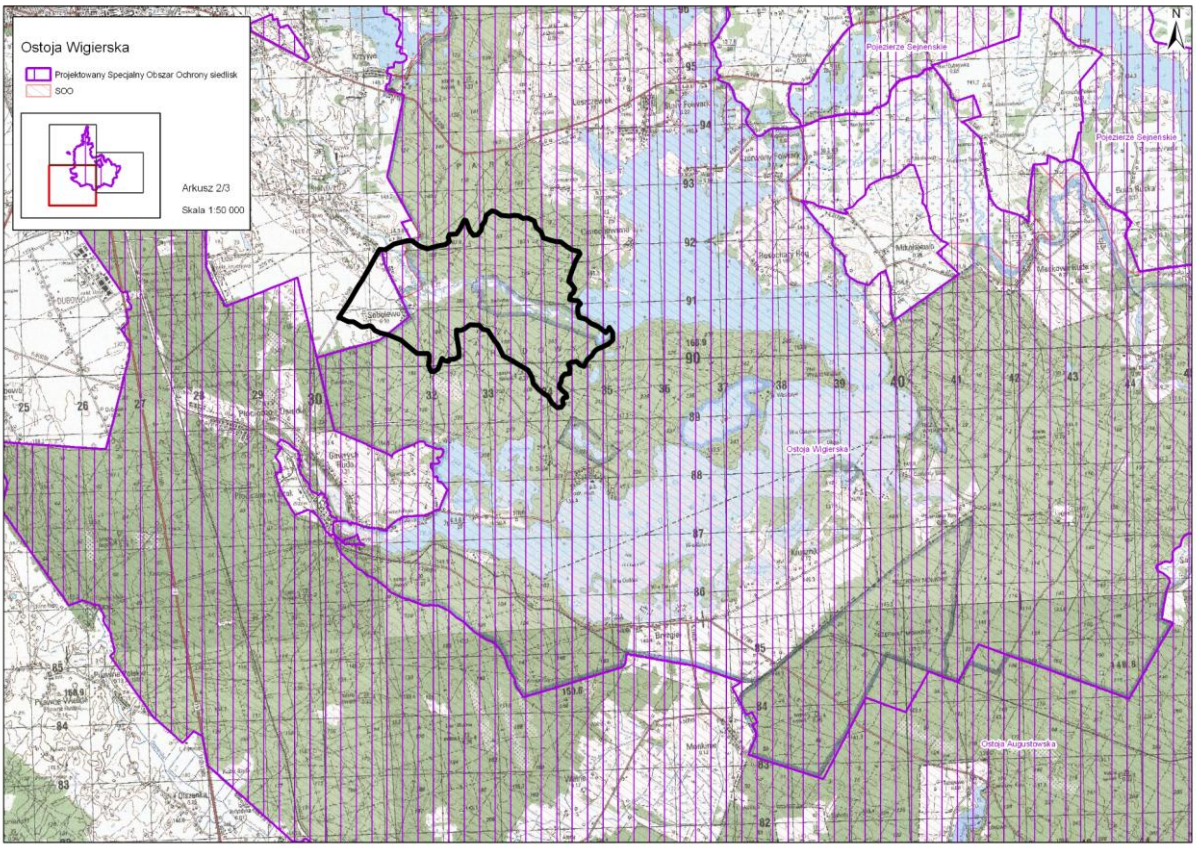
W przypadku Stacji Bazowej Puszcza Borecka około 80% powierzchni zlewni badawczej zlewni jeziora Łękuk położone jest w granicach obszaru Natura 2000 Puszcza Borecka PLH280006 (ryc. 4).



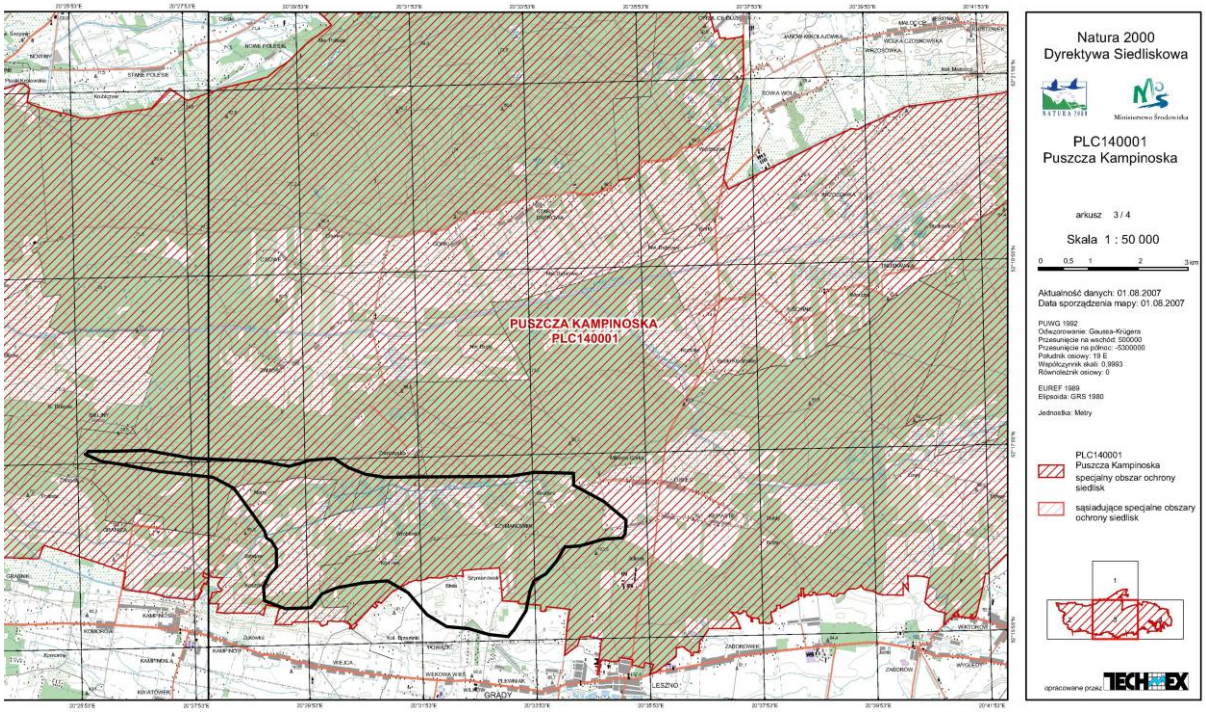
Ryc. 4. Położenie zlewni jeziora Łękuk (granica zlewni zaznaczona czarną linią) w Stacji Bazowej w Puszczy Boreckiej na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)

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

Zlewnia Kanału Olszowieckiego w Stacji Bazowej Kampinos w około 85% położona jest na terenie obszaru Natura 2000 Puszcza Kampinoska PLC140001 oraz w Kampinoskim Parku Narodowym (ryc. 6).

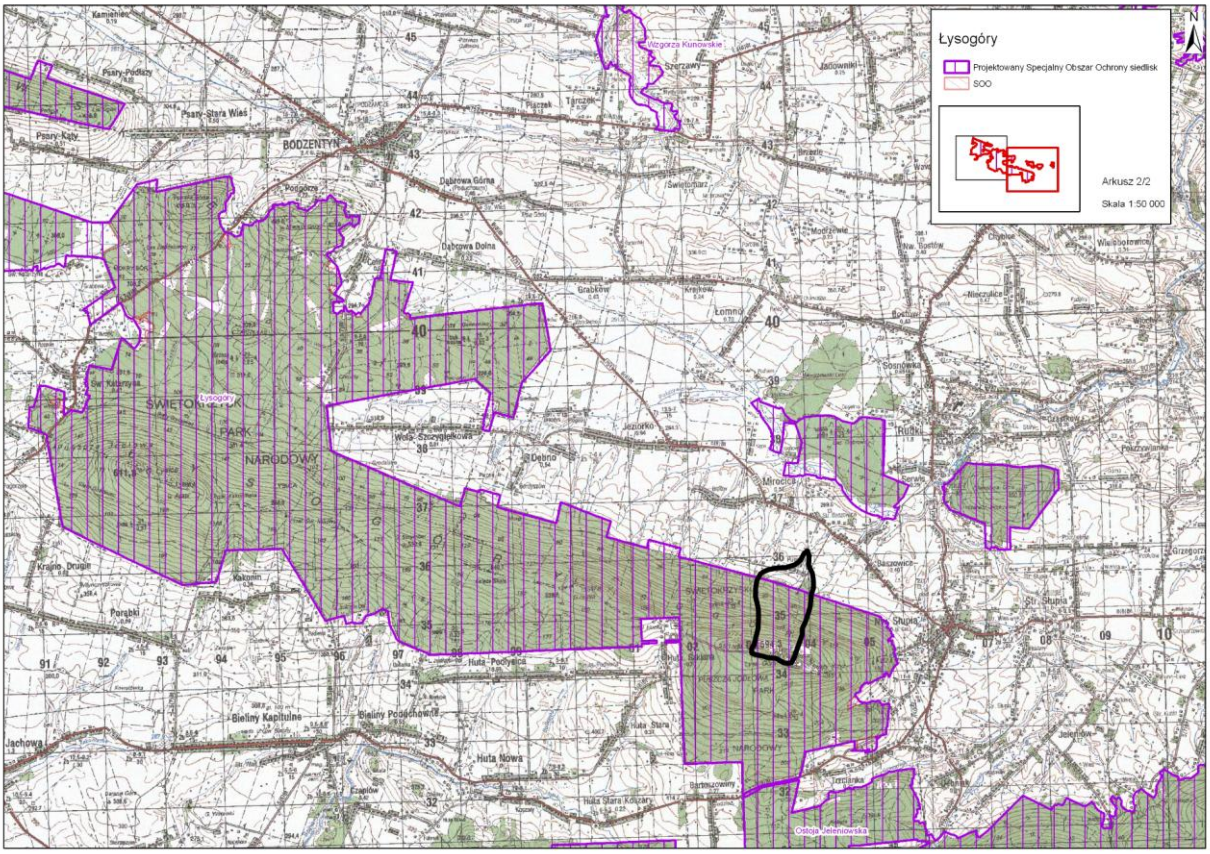


Ryc. 5. Położenie zlewni różnicowej Czarnej Hańczy (granica zlewni zaznaczona czarną linią) w Stacji Bazowej w Wigrach na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2006)



Ryc. 6. Położenie zlewni Kanału Olszowieckiego (granica zlewni zaznaczona czarną linią) w Stacji Bazowej w Kampinosie na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

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



Ryc. 7. Położenie zlewni badawczej (granica zlewni zaznaczona czarną linią) w Stacji Bazowej w Świętym Krzyżu na tle obszarów Natura 2000 (mapa za Techmex 2007)

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

5. System pomiarowy Stacji Bazowych ZMŚP w roku 2011

Program pomiarowy ZMŚP realizowany w roku 2011 w Stacjach Bazowych ZMŚP przedstawia tabela 6.

Tab. 6. Zakres programu badawczo-pomiarowego ZMŚP realizowanego w roku 2011 w Stacjach Bazowych ZMŚP

Program pomiarowy	Biała Góra	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	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								
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								

Programy specjalistyczne	Biała Góra	Storkowo	Puszcza Borecka	Wigry	Koniczynka	Kampinos	Święty Krzyż	Szymbark
Erozja wodna gleb		■						■
Osuwiska								■
Morfodynamika wybrzeża klifowego	■							
Zanieczyszczenie powietrza			■					
Monitoring gatunków obcych				■				
Fauna glebowa i awifauna lęgowa					■			
Wody drenarskie					■			
Fauna kusakowatych z marnikowatymi, sprężykowatych, mrówek i pająków						■		
Malakofauna						■		
Depozycja i transformacja materii w hylosferze							■	

realizowany przez Stacje	nie realizowany – brak w zlewni danego komponentu środowiska geograficznego	nie realizowany w roku 2011 – program realizowany co 5 lat
realizowany przez zespoły specjalistyczne	nie realizowany – brak sprzętu, lub inne przyczyny	nie realizowany

Stacje Bazowe realizowały w roku 2011 założony program. Sytuacją nadzwyczajną – wycinką drzew niezależną od działań Stacji – należy wyjaśnić nie zrealizowanie programu Epifity nadrzewne przez Stację w Szymbarku.

Wszystkie Stacje Bazowe realizują po jednym, a niekiedy po więcej programów specjalistycznych, uzależnionych głównie od potrzeb i zaplecza organizacyjno-merytorycznego poszczególnych Stacji (tab. 6).

Przegląd programów pomiarowych:

Program pomiarowy METEOROLOGIA – A1

Wszystkie 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,
- metodę pasywną i automatyczną: Koniczynka, Święty Krzyż, Szymbark,
- metodą pasywną, manualną i automatyczną: Puszcza Borecka.

W realizacji tego programu Stacje Bazowe w znacznym stopniu (poza Świętym Krzyżem i Puszczą 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, Szymbark) dodatkowo są pobierane próbki dobowe opadu całkowitego za pomocą otwartych chwytaczy standardowych.

Program pomiarowy OPAD PODOKAPOWY C2

Program jest realizowany przez 7 Stacji Bazowych. Stacja Koniczynka nie realizuje programu C2 z powodu braku powierzchni leśnych w zlewni badawczej Strugi Toruńskiej.

Stanowiska są rozmieszczane w różnych, typowych dla badanych zlewni drzewostanach. Stacje Święty Krzyż 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). Próbki pobierane są po dwutygodniowej lub miesięcznej ekspozycji (w Wigrach są zbierane próbki tygodniowe). W terenie, w trakcie każdego pomiaru, wykonywany jest pomiar objętości zebranego opadu.

Program pomiarowy SPŁYW PO PNIACH C3

Program C3 jest realizowany przez 4 Stacje Bazowe (Biała Góra, Puszcza Borecka, Swięty Krzyż, Szymbark), które w zlewniach badawczych posiadają znaczący udział drzewostanów liściastych. Stacje z przewagą drzewostanów iglastych (Storkowo, Koniczynka, Wigry) oraz Stacja bez powierzchni leśnych (Koniczynka) nie realizują tego programu.

W Stacjach realizujących program C3 zbiera się próbki z od 3 do 9 wytypowanych drzew, charakterystycznych dla lokalnych drzewostanów. Próbki 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 7 Stacjach Bazowych (poza Koniczynką), gdzie porosty występują w sposób naturalny w środowisku zlewni. Dla Stacji Koniczynka przeprowadzana jest natomiast ekspozycja zimowa i letnia porostów transplantanowanych z Borów Tucholskich.

Program pomiarowy ROZTWORY GLEBOWE F1

W roku 2011 program pomiarowy F1 realizowało 7 Stacji Bazowych (poza Kampinosem) wyposażonych w próbniki do poboru wód glebowych. Stacja Kampinos nie posiada dotychczas odpowiedniego wyposażenia w tym zakresie. Stacje stosowały zwykle próbniki podciśnieniowe z końcówką teflonową (w Białej Górze próbniki grawitacyjne).

Pobór próbek wód glebowych był dokonywany na różnych typach gleb (charakterystycznych dla geoekosystemów zlewni), w różnych konfiguracjach

przestrzennych i na zróżnicowanych głębokościach (zwykle 20-30, 50-60 i 80-100 cm), uzależnionych od typu gleb i warunków wilgotnościowych.

W terenie w trakcie pomiarów mierzono objętości roztworów.

Program pomiarowy WODY PODZIEMNE F2

W roku hydrologicznym 2011 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 divery).

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. Chwytacze opadu organicznego najczęściej były lokowane w pobliżu stanowisk opadu śródokapowego, w zróżnicowanych pod względem składu gatunkowego i wieku drzewostanach. Stacje pobierały opad organiczny za pomocą zróżnicowanej liczby chwytaczy (od 3 do 30) o łącznej powierzchni od 0,7 do 1,7m^2. Próbki pobierano w odstępach miesięcznych.

Program pomiarowy WODY POWIERZCHNIOWE RZEKI H1

Program H1 realizowany był w roku 2011 przez wszystkie Stacje Bazowe. W większości Stacji punkt pomiarowy zlokalizowany jest 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.

Część Stacji (Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka) wyposażyła punkty hydrometryczne w automatyczne rejestratory stanu wody (co umożliwia obliczanie dla tych stanów przepływów). Pozostałe Stacje Bazowe w punkach hydrometrycznych maja 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 1 raz w roku. W Storkowie próbki są pobierane 4 razy w roku z trzech głębokości: 1 m, 3 m i 5 m. Stacja Puszcza Borecka pobierała próbki wód jeziornych w roku 2011 sześciokrotnie, 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 2011 realizowano programu uszkodzenia drzew i drzewostanów we wszystkich Stacjach Bazowych poza Koniczynką (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 roku 2011 zostały wycięte drzewa, na których Stacja Bazowa Szymbark dotychczas realizowała program M1. Na wiosnę 2012 roku zostały założone w tej Stacji nowe stanowiska do monitoringu porostów nadrzewnych.

Pomiary w Stacjach Bazowych wykonywane wg szczegółowej instrukcji sporządzonej na potrzeby ZMŚP przez Fałtynowicza, Krzysztofiaka (2001). 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 wyznaczono do monitoringu po około 10 gatunków porostów.

Program pomiarowy FAUNA EPIGEICZNA O1

Stacje Bazowe realizują ten program przy pomocy zespołów specjalistów. 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 powody braku powierzchni leśnych realizuje w zamian program specjalistyczny bezkręgowa fauna glebowa. W pozostałych Stacjach są wyznaczone powierzchnie monitoringowe (od 2 do 6), na których zainstalowano pułapki (od 3 do 5 na jednej powierzchni).

Pozyskane próbki fauny biegaczowatych są wysyłane do analiz specjalistycznych do dr hab. Stanisława Huruka na Uniwersytecie Humanistyczno-Przyrodniczym w Kielcach, a w przypadku Kampinosu do specjalistów z Katedry Ochrony Lasu SGGW.

6. Zakres wykonywanych programów pomiarowych przez Stacje Bazowe ZMŚP w roku 2011

Tabela 7. Zakres pomiarowy realizowany przez Stacje Bazowe w roku 2011
BG – Biała Góra, ST – Storkowo, PB – Puszcza Borecka, WI – Wigry, KO – Koniczynka, KA – Kampinos, ŚK – Święty Krzyż, SZ - Szymbark

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

B1	**Zanieczyszczenie powietrza**	Zakres podstawowy		
		SO2S	dwutlenek siarki	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NODN	dwutlenek azotu	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		CO2	dwutlenek węgla	PB
		O3	ozon	**ST, PB, KA, ŚK, SZ**
		NO3N_T	azot azotanowy	PB, KO
		NH4N_T	azot amonowy	PB
		SO4S	siarka siarczanowa	PB, KO
		PM10	pył zawieszony	PB, KO, KA

C1	**Chemizm opadów atmosferycznych**	Zakres podstawowy		
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NH4_N	azot amonowy NH_4	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		PTOT	fosfor ogólny $P_{ogól.}$	ST, PB, ŚK
		MN	mangan Mn	ST, PB, ŚK
		FE	**żelazo**	PB, ŚK
		ZN	cynk Zn	ST
		AL	glin	PB, ŚK

C2	**Chemizm opadu podkoronowego**	Zakres podstawowy		
		RR_TF	wysokość	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		AL	glin	PB, ŚK
		FE	**żelazo**	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	PB, ŚK
		PTOT	fosfor ogólny	PB
		PO4P	fosfor fosforanowy PO_4	ŚK

C3	**Chemizm spływu po pniach**	Zakres podstawowy		
		RR_SF	wysokość	BG, PB, ŚK, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, PB, ŚK, SZ
		PH	**odczyn pH**	BG, PB, ŚK, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4	BG, PB, ŚK, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3	BG, PB, ŚK, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4	BG, PB, ŚK, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, PB, ŚK, SZ
		NA	sód Na	BG, PB, ŚK, SZ
		K	potas K	BG, PB, ŚK, SZ
		CA	wapń Ca	BG, PB, ŚK, SZ
		MG	magnez Mg	BG, PB, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		PTOT	fosfor ogólny	PB, ŚK
		MN	mangan Mn	PB, ŚK
		FE	żelazo	PB, ŚK
		AL	glin	PB, ŚK

F1	**Roztwory glebowe**	Zakres podstawowy		
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		HCO3	wodorowęglany	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa $SO4_2$	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		PTOT	siarka siarczanowa $SO4_2$	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		MG	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		K	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		FE	żelazo	ŚK
		MN	mangan	ŚK

F2	**Wody podziemne**	Zakres podstawowy		
		WL, SPRING_D	Stan wody, wydajność źródła	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		TEMP	temperatura wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		HCO3	wodorowęglany	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4^2	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		BZT5	BZT5	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		O2D	Rozpuszczony tlen	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		DOC	węgiel org. rozpuszczony	PB, KO
		SIO2	krzemionka SiO_2	ST
		AL	glin	PB
		MN	mangan	PB, KO, ŚK, SZ
		FE	żelazo	PB, KO, ŚK, SZ
		CD	kadm	PB, ŚK
		PB	ołów	PB, ŚK
		CR	chrom	PB, ŚK
		ZN	cynk	PB, ŚK
		NI	nikiel	PB
		AS	arsen	PB, ŚK
		CU	miedź	PB, ŚK

G2	**Chemizm opadu organicznego**	Zakres podstawowy		
		LDEP_F	opad organiczny (masa świeża)	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		LDEP_D	opad organiczny (masa sucha)	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		TOC	całkowity węgiel organiczny C_{org}	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		STOT	siarka ogólna $S_{ogól.}$	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		NTOT	azot ogólny $N_{ogól.}$	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		MN	mangan	PB
		ZN	cynk	PB
		B	bor	PB
		CU	miedź	PB
		MO	molidben	PB
		PB	ołów	PB
		CD	kadm	PB

H1	**Wody powierzchniowe-rzeki**	Zakres podstawowy		
		WL	stan wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		Q_E	przepływ wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		TEMP	temperatura wody	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		HCO3	wodorowęglany	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NA	sód Na	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		K	potas K	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CA	wapń Ca	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		MG	magnez Mg	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NO3N	azot azotanowy NO_3	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		NH4N	azot amonowy NH_4	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4^{2}	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		CL	chlorki	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		PTOT	fosfor ogólny	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		O2D	tlen rozpuszczony	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		BZT5	BZT5	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK, SZ
		Zakres rozszerzony		
		SUS	zawiesina	ST
		SIO2	krzemionka SiO_2	ST, PB
		AL	glin	PB
		PO4P	fosfor fosforanowy PO_4^{3-}	ST, PB, KO, ŚK
		DOC	węgiel org. rozp.	PB
		CD	kadm	PB, ŚK
		CU	miedź	PB, ŚK
		PB	ołów	PB
		MN	mangan Mn	ST, PB
		ZN	cunk	PB
		NI	nikiel	
		AS	arsen	PB
		FE	żelazo Fe	ST, PB
		CR	chrom	PB

H2	**Wody powierzchniowe – jeziora**	Zakres podstawowy		
		WL	Stan wody	BG, ST, PB
		TEMP	temperatura wody	BG, ST, PB
		COND	przewodność właściwa	BG, ST, PB
		PH	odczyn pH	BG, ST, PB
		HCO3	wodorowęglany	**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
		NO3N	azot azotanowy NO_3	BG, ST, PB
		NH4N	azot amonowy NH_4	BG, ST, PB
		SO4S	siarka siarczanowa SO_4	BG, ST, PB
		CL	chlorki Cl	BG, ST, PB
		PTOT	fosfor ogólny P_{og}	BG, ST, PB
		O2D	tlen rozpuszczony	BG, ST, PB
		BZT5	BZT5	BG, ST, PB
		Zakres rozszerzony		
		SIO2	krzemionka SiO_2	ST, PB
		AL	glin	PB
		PO4P	fosfor fosforanowy PO_4	ST, PB
		CD	kadm	PB
		MN	mangan Mn	ST, PB
		AS	arsen	PB
		FE	żelazo Fe	ST, PB

K1	**Uszkodzenia drzew i drzewostanów**	Zakres podstawowy		
		DEFO	defoliacja	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		DISC	odbarwienia	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ
		DBH	pierśnica	BG, ST, PB, WI, KA, ŚK, SZ

M1	**Epifity nadrzewne**	Zakres podstawowy		
		COVE_1	pokrycie	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK
		HEALTH_L	zdrowotność plechy	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK
		AREA_R	wielkość powierzchni badawczej	BG, ST, PB, WI, KO, KA, ŚK

Ilość pobranych próbek, zaplecze laboratoryjne Stacji Bazowych

Przybliżona łączna liczba próbek wód pobranych w Stacjach Bazowych w roku 2011 wynosi:

- opad atmosferyczny: 1600,
- opad podokapowy 480,
- spływ po pniach 150,
- roztwory glebowe 95,
- wody podziemne 150,
- wody rzeczne: 960,
- wody jeziorne: 60,
- wody podziemne: 30,

Dla kontroli jakości uzyskiwanych wyników pomiarów i analiz chemicznych Stacje Bazowe w roku 2011 stosowały następujące metody obliczeniowe: sporządzania 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. 8).

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

Tab. 8. Zaplecze laboratoryjne Stacji Bazowych ZMSP w roku 2011 w zakresie analiz powietrza i wody

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

LMŚ IOŚ – Laboratorium Monitoringu Środowiska Instytutu Ochrony Środowiska w Warszawie,
Propagator – Centrum Innowacyjno-Wdrożeniowe Propagator Kraków

7. Obieg i ilość wody w geoekosystemach jako wskaźnik stanu środowiska geograficznego

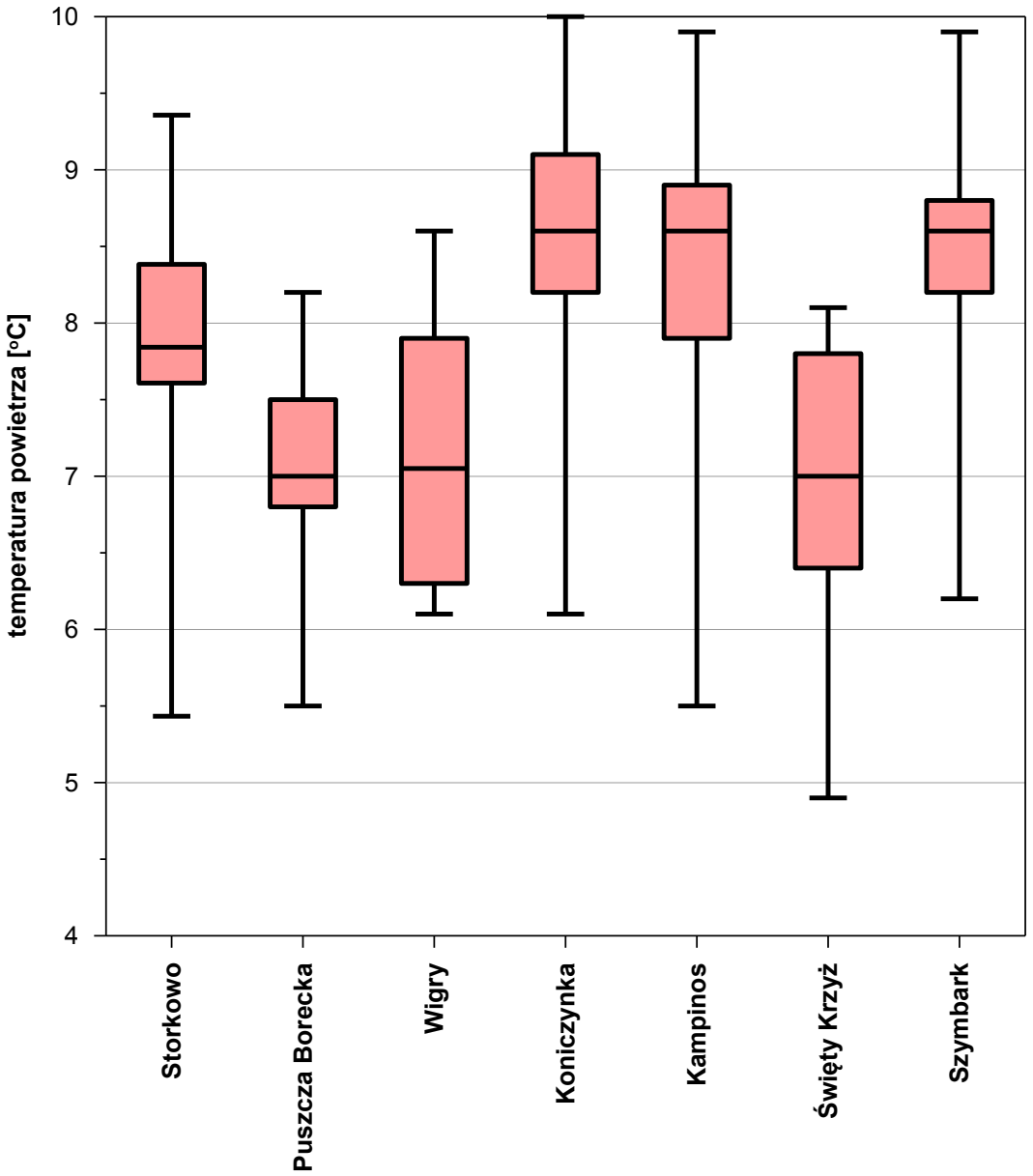
Monitoring w zlewniach badawczych ZMŚP wykazuje, iż najważniejsze znaczenie dla funkcjonowania sfery abiotycznej i biotycznej geoekosystemów Polski ma obieg wody, w tym:

- ilość wody krążącej w geoekosystemie,
- dynamika obiegu wody (rozkład czasowy opadów i odpływu rzecznego, okresy posuch i okresy nasilonych opadów rozlewnych bądź skumulowanych w czasie opadów nawalnych,
- długookresowe trendy dostawy wody do geoekosystemów.

Dostawa wody do badanych geoekosystemów jest zróżnicowana w skali regionalnej Polski i nawiązuje do położenia poszczególnych zlewni w krainach fizjograficznych i klimatycznych kraju. Podstawowe znaczenie mają w tym przypadku warunki termiczne i opadowe, decydujące 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 życie świata roślinnego i zwierzęcego (Bac i inni 1993).

Warunki termiczne na podstawie średnich rocznych temperatur powietrza dla Stacji Bazowych są zróżnicowane w nawiązaniu do położenia na obszarze Polski (ryc. 8). Czynnik regionalny jest dobrze odzwierciedlony poprzez spadek średniej temperatury powietrza w Polsce północnej z zachodu na wschód (Storkowo - Puszcza Borecka - Wigry) od wartości 7,8^{o}C do 7,0^{o}C. Równocześnie zauważalny jest wzrost kontynentalizmu klimatu, co wyraża rosnący na wschód zasięg wartości zawartych między 1 i 3 kwartylem. Najwyższe średnie roczne temperatury powietrza mają Stacje Bazowe położone w środkowej Polsce – Koniczynka i Kampinos - po około 8,6^{o}C oraz w Polsce południowej – Szymbark 8,6^{o}C. Niską średnią roczną temperaturę powietrza wykazują obserwacje ze Stacji Święty Krzyż (7°C), co uwarunkowane jest położeniem w masywie górskim na stosunkowo znacznej wysokości (około 520 m n.p.m.). Poza uwarunkowaniami regionalnymi niewątpliwie na warunki termiczne Stacji Bazowych wpływają czynniki lokalne. Położeniem i czynnikami lokalnymi, m.in. tworzeniem się zastoisk zimnego powietrza w dolinach i

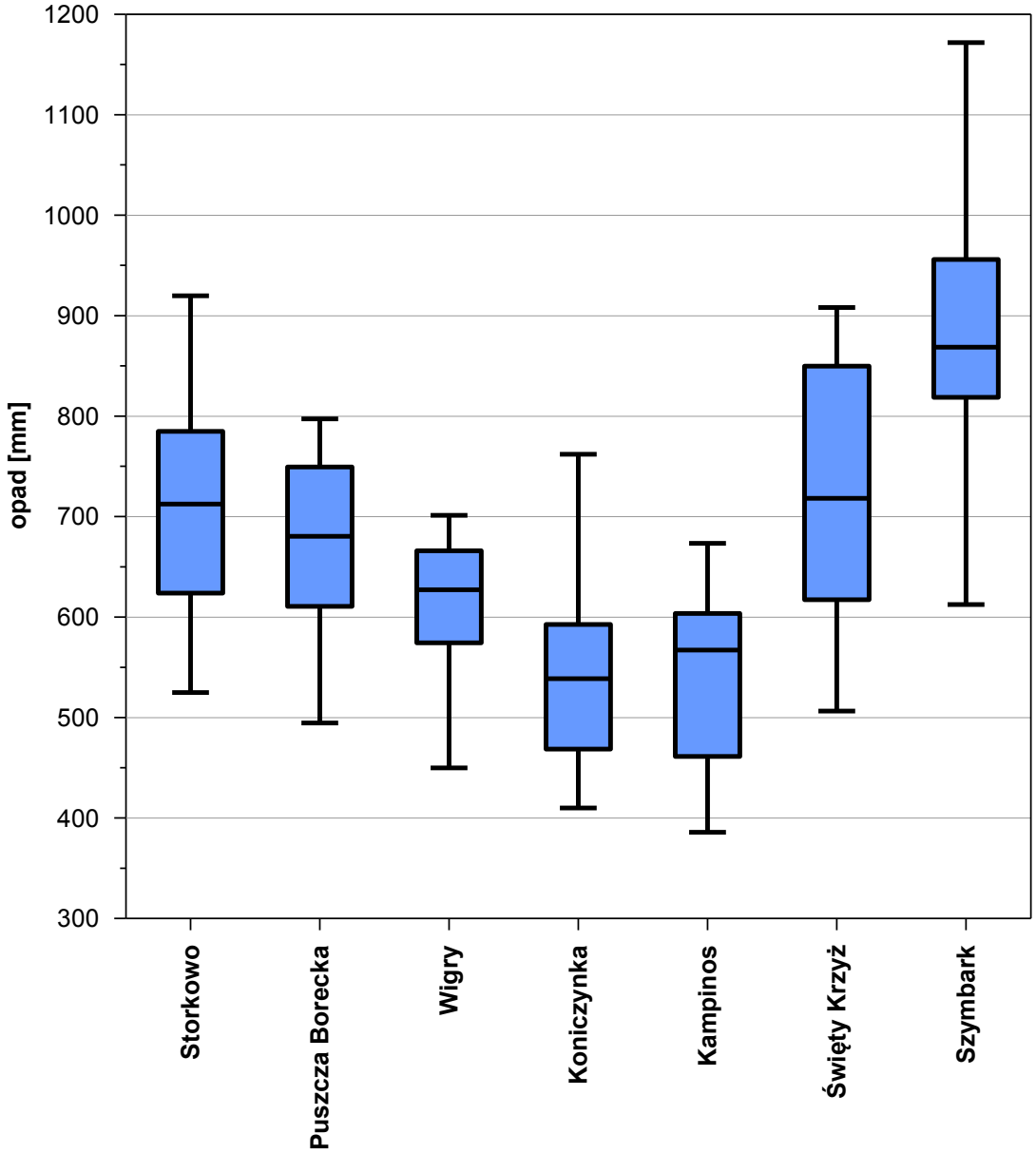
obniżeniach terenowych, można tłumaczyć występowanie bardzo niskich temperatur powietrza w Kampinosie oraz w Storkowie. W przypadku Wigier i prawdopodobnie Puszczy Boreckiej stosunkowo małe amplitudy zmian termicznych wyjaśnia położenie stanowisk pomiarowych blisko zbiorników jeziornych, łagodzących kontrasty termiczne wskutek dużej pojemności cieplnej zgromadzonej w nich wody.



Ryc. 8. Warunki termiczne w Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie średnich rocznych temperatur powietrza (Storkowo, Puszcz Borecka, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż, Szymbark: 1994-2011, Wigry: 2002-2011)

Wykres typu box-plot zawiera: wartość maksymalną i minimalną, przedział 1-3 kwartyl oraz wartość modalną

Zróżnicowanie warunków opadowych w Stacjach Bazowych również zależy od uwarunkowań regionalnych oraz lokalnych (ryc. 9).



Ryc. 9. Warunki opadowe w Stacjach Bazowych ZMŚP na podstawie rocznych sum opadów atmosferycznych (Storkowo, Puszcz Borecka, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż, Szymbark: 1994-2011, Wigry: 2002-2011)

Wykres typu box-plot zawiera: wartość maksymalną i minimalną, przedział 1-3 kwartyl oraz wartość modalną

Roczna suma opadów w Polsce północnej maleje z zachodu na wschód (Storkowo 710 mm, Puszcza Borecka 680 mm, Wigry 630 mm), co odzwierciedla

rosnący stopień kontynentalizmu klimatu w miarę rosnącej odległości od Atlantyku. Zmniejszanie się ilości opadów zachodzi również w transekcie południkowym, od Storkowa do Koniczynki i Kampinosu, gdzie w skali Stacji Bazowych opady są najniższe i wynoszą rocznie około 540-560 mm. Dalej w kierunku południowym następuje wzrost opadów uwarunkowany położeniem Stacji na obszarach górskich (Święty Krzyż 720 mm i Szymbark 870 mm). Największą amplitudą rocznych sum opadów odznacza się Stacja Bazowa w Szymbarku (około 560 mm), co warunkuje zmienność opadów charakterystyczna dla obszarów górskich (przede wszystkim w zakresie opadów o dużych sumach). Nieco mniejsze zróżnicowanie sum rocznych opadów występuje w Storkowie (amplituda 400 mm), na Świętym Krzyżu (400 mm) oraz w Koniczynce (360 mm). Duże zróżnicowanie rocznych sum opadów jest niekorzystne dla funkcjonowania środowiska geograficznego. Niesie w konsekwencji ryzyko występowania co kilka lat posuch atmosferycznych prowadzących do posuch glebowych. Najkorzystniejsza sytuacja pod względem zmienności sum opadów ma miejsce w Wigrach (amplituda 250 mm). Można oczekiwać, iż w tej Stacji ryzyko posuch atmosferycznych występuje najrzadziej.

Relacja temperatur powietrza do sum opadów w poszczególnych Stacjach Bazowych wskazuje na niekorzystne zjawisko, które niewątpliwie determinuje pod wieloma względami funkcjonowanie środowiska geograficznego monitorowanych zlewni. W przypadku Koniczynki i Kampinosu najwyższe temperatury powietrza (ryc. 8) przypadają na najniższe sumy opadów atmosferycznych (ryc. 9). Sprawia to, iż 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 (Bac i inni 1993). Wysokie parowanie terenowe spowodowane wysokimi temperaturami powietrza przy małych opadach prowadzi do zaniżania odpływów jednostkowych i przepływów w ciekach. Jest przyczyną słabego wykształcenia i małej gęstości sieci rzecznej. Centralna część Polski, gdzie są położone te dwie Stacje Bazowe ma bardzo niski w skali kraju odpływ jednostkowy, poniżej 4 $dm^3 s^{-1} km^2$ (w Storkowie i w Szymbarku odpływ jednostkowy wynosi ponad 10 $dm^3 s^{-1} km^2$) (Kozłowski i inni 1994). W latach szczególnie ubogich w opady dochodzi do naruszania zasobów wód podziemnych i obniżania poziomu zalegania tych wód w gruncie. Taką sytuację wielokrotnie przedstawiały raporty ze Stacji Kampinos, gdzie częstym zjawiskiem jest duża zmienność zalegania poziomu wód podziemnych, prowadząca aż do obniżania się

poziomu wód podziemnych poniżej zasięgu otworów piezometrycznych. Mała ilość wody stwarza problemy dla funkcjonowania biotycznej części środowiska oraz gospodarcze, szczególnie dla działalności rolniczej (ten problem w kontekście występowania posuch glebowych często jest sygnalizowany w raportach ze Stacji Bazowej w Koniczynce). W Kampinosie niekorzystny klimatyczny bilans wodny wespół z warunkami litologicznymi (duży udział piasków) prowadzi do wykształcenia małej zdolności retencyjnej zlewni (stosunek Q_{max} do Q_{min} powyżej 2) (Kozłowski i inni 1994). W takiej sytuacji nawet okresowe zwiększenie opadów atmosferycznych nie prowadzi do odbudowy zasobów wodnych, a jedynie do szybkiego i krótkotrwałego wzrostu odpływu rzecznego. Pod względem relacji opadu do temperatury powietrza najkorzystniejsza wśród Stacji Bazowych sytuacja występuje w Szymbarku, na Świętym Krzyżu i w Puszczy Boreckiej.

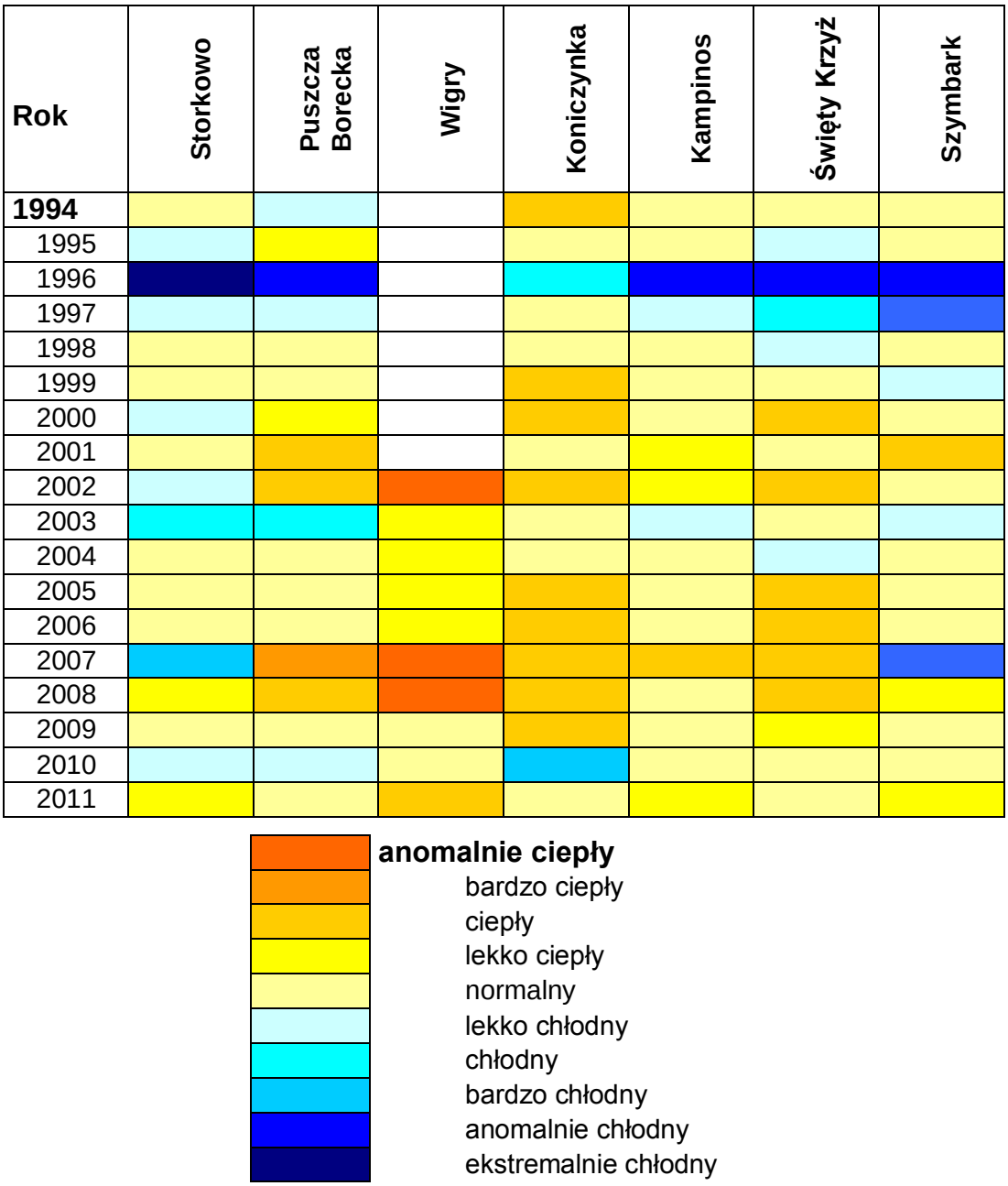
Wskaźnik (klasyfikacja) termiczno-opadowy ułatwia ocenę trendów termiki powietrza (ryc. 10) i opadów atmosferycznych (ryc. 11) w czasie.

Klasyfikacja termiczna (ryc. 10) podkreśla znaczną zmienność termiki powietrza we wszystkich Stacjach Bazowych, co jest konsekwencją przejściowego klimatu Polski, o dużych różnicach pogodowych w kolejnych latach.

W okresie 1995-1997 doszło do spadku temperatury powietrza. Zjawisko to było rejestrowane praktycznie we wszystkich Stacjach Bazowych. Z kolei z clasteringiem lat ciepłych spotykamy się w okresach 2001-2002 oraz 2005-2009. W tym przypadku wzrost temperatury w tych latach nie objął regionów reprezentowanych przez Stacje Bazowe w Storkowie i w Szymbarku. Ostatnie trzy lata obserwacji (2009-2011) świadczą raczej o stabilizacji warunków termicznych we wszystkich Stacjach Bazowych poza Koniczynką, gdzie rok 2010 został zaliczony do lat chłodnych. Rok 2011 we wszystkich Stacjach Bazowych był rokiem normalnym lub ciepłym. Należy dodać, iż Stacja Bazowa w Białej Górze, z zaledwie 3. letnim okresem obserwacji meteorologicznych, nie może dokonać takiego zestawienia. Również należy specyficznie interpretować wyniki dla Wigier, gdyż brak własnej, co najmniej 10. letniej serii obserwacyjnej, zmusza do porównywania własnych obserwacji z serią wieloletnią zebrana w Suwałkach.

Podejście metodyczne stosowane w prezentowanej klasyfikacji opadowej nie umożliwia wykazania trendów termicznych rosnących ani malejących dla którejkolwiek ze Stacji Bazowych. Potwierdza natomiast sygnalizowaną już

zmienność termiki powietrza w kolejnych latach, co jest zjawiskiem zupełnie normalnym dla warunków klimatycznych Polski.

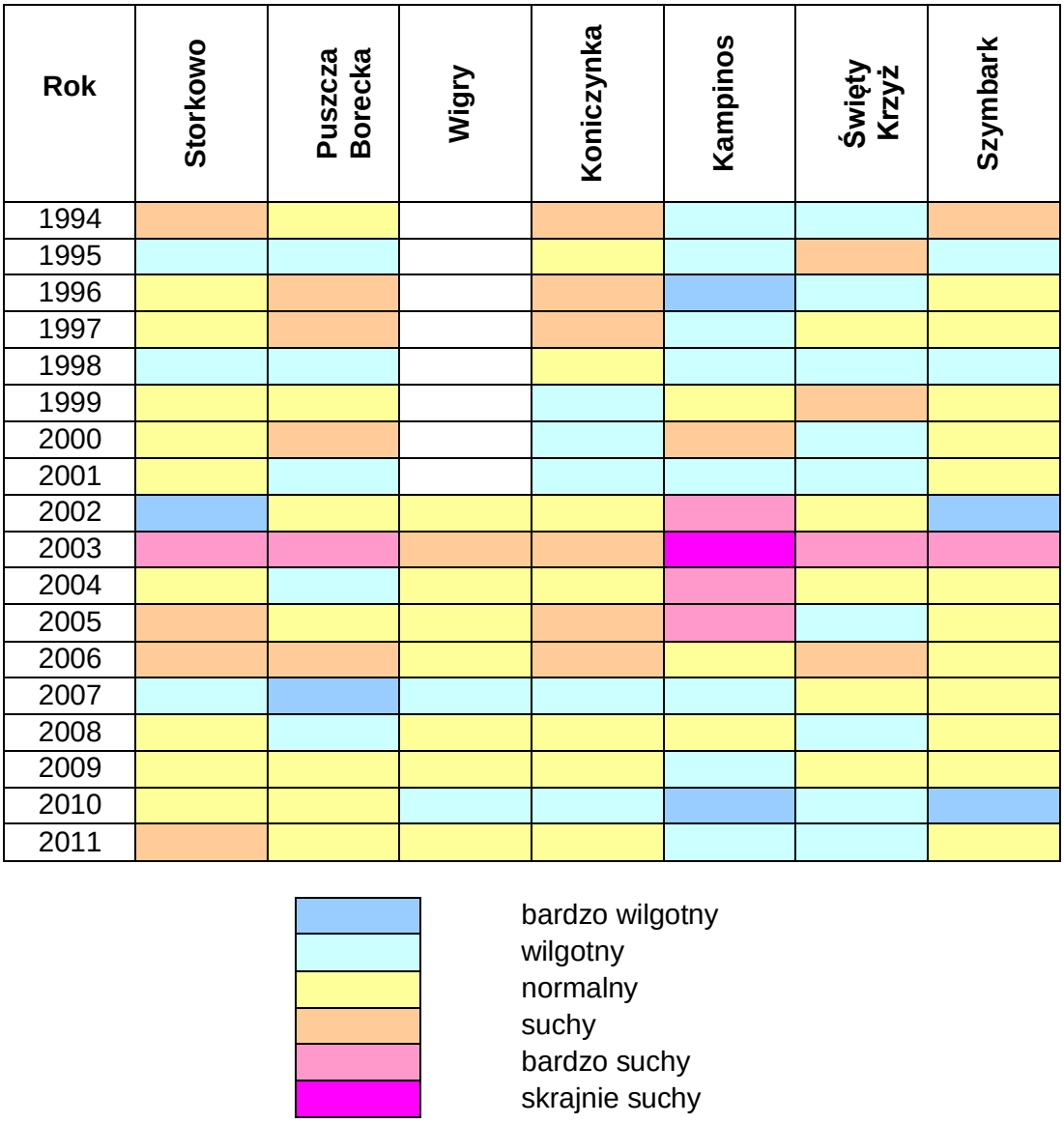


Ryc. 10. Klasyfikacja termiczna dla Stacji Bazowych ZMŚP (wg metodyki Lorenc 1998)

Klasyfikacja opadowa potwierdza dużą zmienność warunków opadowych we wszystkich Stacjach Bazowych (ryc. 11).

Szczególnie duża zmienność opadów występowała w Kampinosie. W latach 1994-98 w tej Stacji Bazowej opady były podwyższone, natomiast w latach 2002-05

doszło do clasteringu lat suchych, łącznie ze skrajnie suchym rokiem 2003. Jest to sytuacja bardzo niekorzystna dla funkcjonowania środowiska. Do podobnego nasilenia przypadających po sobie suchych lat doszło również w innych Stacjach Bazowych. Podobnie rok 2006 zapisał się jako okres o największym niedoborze opadów w skali ogólnopolskiej. Potwierdzają to raporty Stacji Bazowych oraz opracowania szczegółowe przedstawiane przez niektóre Stacje Bazowe (Kostrzewski i inni 2007). Ostatnie lata pomiarowe (2007-11) zapisały się jako okres o opadach atmosferycznych normalnych bądź podwyższonych w stosunku do średnich wieloletnich. Umożliwiło to odbudowę zasobów wodnych zlewni badawczych. Wyjątkiem w roku 2011 jest jedynie Storkowo, gdzie rok pod względem opadowym był suchy.

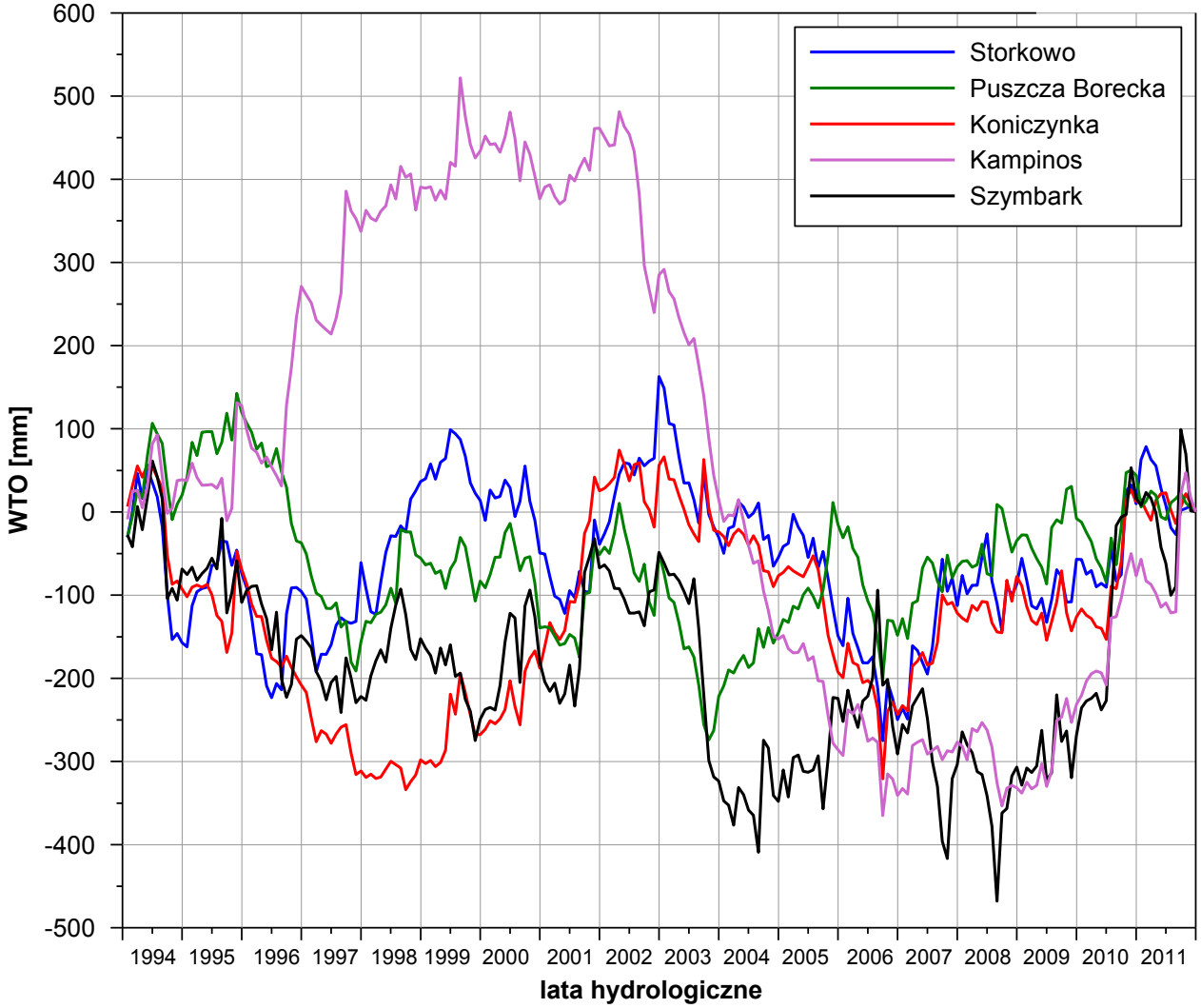


Ryc. 11. Klasyfikacja opadowa dla Stacji Bazowych ZMŚP (wg metodyki Lorenc 1998)

Bardzo ważne jest uwzględnienie przy ocenie stanu środowiska geograficznego dłuższych trendów opadowych. Wyjątkowo niekorzystne jest bowiem nakładanie się na siebie kolejnych lat z niedoborem wody opadowej, tak, jak to miało miejsce np. w Kampinosie w latach 2002-2005. Próbą ujęcia tego typu zjawisk w kategoriach ilościowych jest zaproponowany *wskaźnik tendencji opadowych (WTO)*, opisany w części wstępnej niniejszego opracowania. Przebieg wartości *wskaźnika tendencji opadowych* dla Stacji Bazowych z lat 1994-2011 ujawnia szereg uwarunkowań lokalnych, niemniej wskazuje również na przyczyny ogólne natury regionalnej (ryc. 12). Metodyka obliczania tego geowskaźnika pozwala na porównania jedynie tych stanowisk, które mają takie same okresy pomiarowe. Z tej przyczyny w obliczeniach i na rycinie 6 nie uwzględniono danych ze Świętego Krzyża (szczegółowe dane opadowe od roku hydrologicznego 1999), Wigier (dane od roku 2002) oraz Białej Góry (dane od roku 2009). W tym miejscu można zaproponować, aby wymienione Stacje Bazowe podjęły próbę uzupełnienia brakujących ciągów pomiarowych poprzez ekstrapolację danych z zastosowaniem przyjętych w klimatologii metod opracowywania szeregów obserwacyjnych, np. metodą stałości stosunków przy wykorzystaniu obserwacji z położonych najbliżej stacji meteorologicznych (Bac, Rojek 1979).

Najbardziej podobne przebiegi *wskaźnika tendencji opadowych* występują w przypadku Storkowa i Puszczy Boreckiej, a częściowo również Stacji Bazowej w Koniczynce. Prawdopodobnie położenie wymienionych Stacji Bazowych w północnej, młodoglacjalnej części Polski, przyczynia się do zbliżonych tendencji w wartościach i przebiegu wskaźnika. Dla wymienionych Stacji wskaźnik *WTO* charakteryzuje się dynamicznym przebiegiem o charakterze sinusoidalnym. Dla Storkowa maksima wartości wskaźnika wystąpiły w latach 1994, 1999, 2003, 2008, a minima w latach 1996, 2001, 2007. Stwierdzić można zatem występowanie zmienności o okresie 4-5 lat. Komentarza wymaga pozorna sprzeczność pomiędzy wysoką wartością wskaźnika *WTO* w Storkowie w roku 2003, a charakterystyką opadową tego roku, określoną jako bardzo suchy. Wysoką wartość wskaźnik *WTO* osiągnął na początku roku 2003, po bardzo wilgotnym roku 2002. Od roku 2003 rozpoczął się natomiast okres kumulacji niedoborów opadowych, trwający praktycznie aż po rok 2006. Proponowany wskaźnik, jako narzędzie o charakterze ilościowym, jest bardziej „czuły” niż klasyfikacja opadowa. 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 konkretne zjawiska przyrodnicze. W latach 1994, 2003, 2005 i 2006 występowały posuchy atmosferyczne. W roku 1997, a później w okresie 2005-2006 badania terenowe wykazywały zanik wody w licznych, płytkich i małych zbiornikach bezodpływowych, tzw. oczkach wodnych (Major 2009). W ostatnich latach nastąpiła regeneracja funkcji hydrologicznych tych zagłębień przy istotnym udziale odnowy zasobów wodnych z pokrywy śnieżnej podczas zim 2008/2009 i 2009/2010. O podobnym problemie zaniku wody w zagłębieniach bezodpływowych informowały raporty ze Stacji Bazowej Wigry w latach 1996-1997 (Krzysztofiak red. 1997, 1998). Wymusiło to konieczność podjęcia prac przy pogłębianiu części z nich w celu ratowania populacji płazów w Wigierskim Parku Narodowym. W ostatnich latach do takich niekorzystnych zjawisk nie dochodzi.



Ryc. 12. Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) dla Stacji Bazowych ZMŚP w latach 1994-2011

Przebieg wartości wskaźnika *WTO* dla Koniczynki w latach 1999-2003 potwierdza, iż dla odbudowy zasobności wodnej zlewni najważniejszy jest clastering kilku lat wilgotnych (1999-2001), a wówczas nawet wystąpienie roku suchego (2003) jeszcze nie powoduje gwałtownego spadku wartości wskaźnika WTO. Dopiero nałożenie się kolejnych lat z opadami normalnymi (2004) i suchych (2005-2006) doprowadziło do głębokich deficytów wody w geoekosystemie.

Podobny przebieg jak w Polsce północnej ma przebieg wskaźnika *WTO* w Szymbarku. W tym przypadku zwraca uwagę głęboki deficyt wody w roku 2008, pomimo, iż poprzedziły go lata klasyfikowane jako normalne opadowo (2004-2007).

Zupełnie inny od pozostałych Stacji Bazowych przebieg wskaźnika *WTO* w Kampinosie można na obecnym etapie danych interpretować jedynie jako wybitnie dużą zależność od lokalnych warunków opadowych. Dla Kampinosu inna jest czasowa zmienność maksimów i minimów (około 8-9 letnia) jak i wielkość „nadmiaru" wody w latach 1998-2002 oraz głębokość deficytu wodnego w okresie 2005-2009.

W analizie funkcjonowania środowiska geograficznego zlewni należy bezwzględnie brać pod uwagę ilość wody w geoekosystemie wynikającą z wieloletnich relacji opadowych. Zastosowanie opisywanego wskaźnika *WTO* ułatwia takie podejście badawcze. Przebieg tego wskaźnika dla Stacji Bazowych prezentowanych na rycinie 12 świadczy, że w roku 2010 postępowała jeszcze odbudowa zasobów wodnych po deficytach z lat 2006-2008. Dane opadowe ze Stacji Bazowych potwierdziły wówczas duży udział pokrywy śnieżnej w ostatnich dwóch latach w odnawianiu zasobów wodnych. Stoi to w zgodzie z opinią hydrologów, iż o zachowaniu retencji wodnej decydują opady półrocza zimowego (w tym bardzo istotne opady śniegu i woda pochodząca z jego topnienia). Opady półrocza letniego, aczkolwiek we wszystkich Stacjach Bazowych przeważające ilościowo nad opadami w półroczu zimowym, są „tracone" z geoekosystemu wskutek dużej letniej ewapotranspiracji, a odpływ rzeczny o charakterze niżówkowym dokonuje się w półroczach ciepłych kosztem zasobów wód podziemnych. Przebieg *WTO* w roku 2011 może wskazywać na to, że kończy się cykl lat z „nadmiarem" wody w środowisku i, najprawdopodobniej, w roku 2012 i latach kolejnych spotkamy się z niedoborem wody.

8. Jakość wody w geoekosystemach jako wskaźnik stanu środowiska geograficznego

8.1. Wskaźniki jakości opadów atmosferycznych

Opady atmosferyczne należą do wód naturalnych o zazwyczaj niskiej mineralizacji. Ich skład chemiczny odzwierciedla jakość powietrza atmosferycznego i jest kształtowany pod wpływem zarówno czynników naturalnych jak i zmiennej w czasie i przestrzeni emisji antropogenicznej. Wyraźne zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych wód opadowych badanych w poszczególnych Stacjach Bazowych ZMŚP jest związane ze zróżnicowanym oddziaływaniem czynników naturalnych i antropogenicznych.

Wskaźnik klasyfikacji pH/SEC opadów pokazuje, że w roku hydrologicznym 2011 opady atmosferyczne wykazywały zawartość składników chemicznych wyrażoną średnią ważoną przewodnością elektrolityczną mieszczącą się w 3 klasach (wg klasyfikacji Jansena i innych 1988) (ryc. 13), wskazujących na jakość wód opadowych:

- *przewodność nieznaczna* – obserwowana w 2 Stacjach: Białej Górze i Puszczy Boreckej,
- *przewodność lekko podwyższona* – obserwowana w 3 Stacjach Bazowych: Storkowo, Wigry i Szymbark,
- *przewodność znacznie podwyższona* – obserwowana w 2 Stacjach: Koniczynka i Kampinos,
- *przewodność mocno podwyższona* – obserwowana w 1 Stacji: Święty Krzyż.

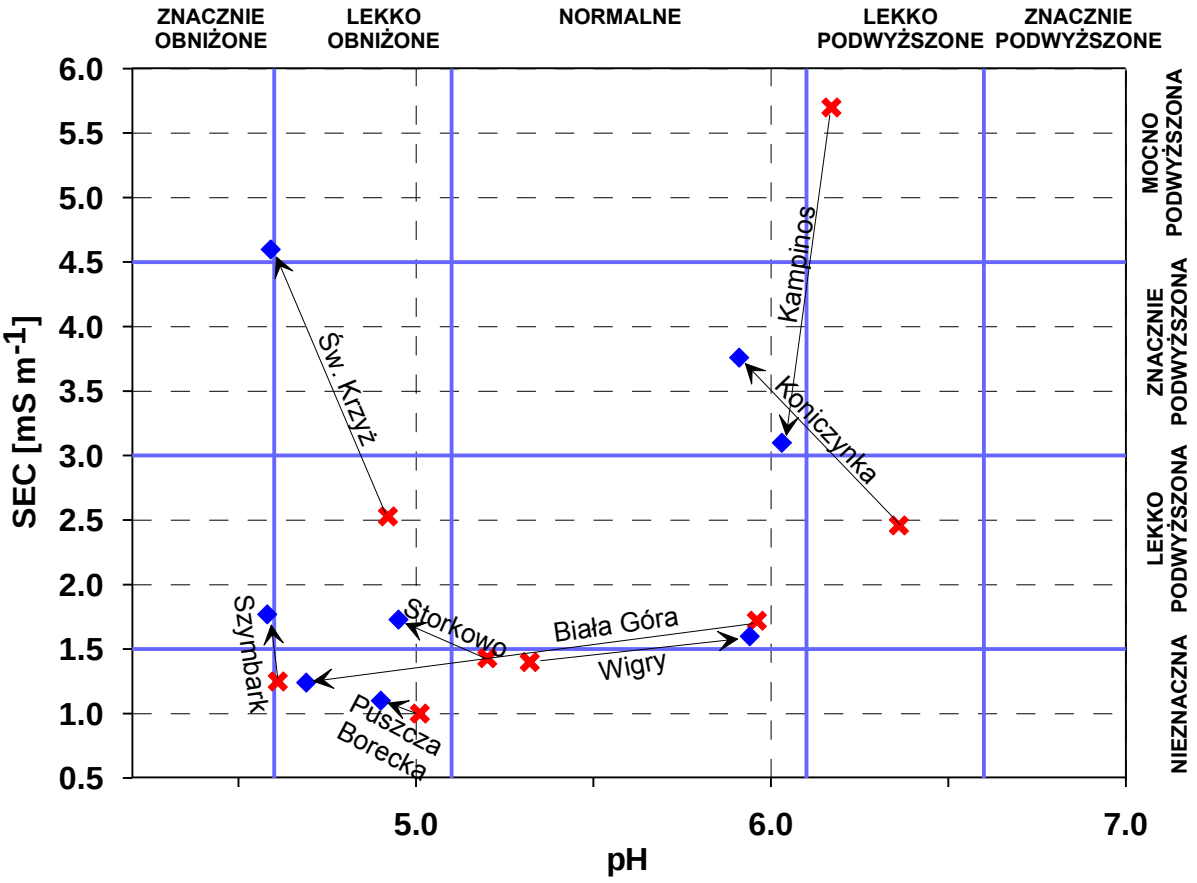
Zakwaszenie wód opadowych w roku hydrologicznym 2011 w poszczególnych Stacjach wyrażają wartości pH, które zgodnie z klasyfikacją Jansena i innych (1988) należy zaliczyć do klasy:

- *pH znacznie obniżone* – w 2 Stacjach: Święty Krzyż i Szymbark,
- *pH lekko obniżone* – w 3 Stacjach: Biała Góra, Storkowo i Puszcza Borecka,
- *pH normalne* – w 3 Stacjach: Wigry, Koniczynka i Kampinos.

Należy dokonać oceny zmian, jakie zaszły w klasyfikacji opadów pomiędzy rokiem 2010 i rokiem 2011, mając na uwadze to, że jest to tylko pewien krok w

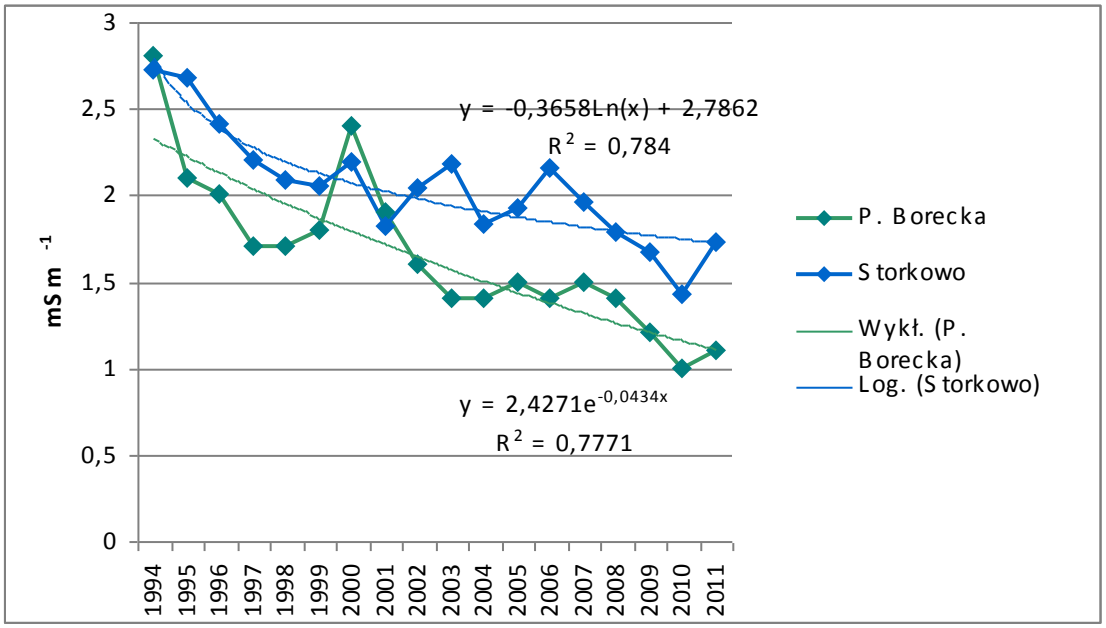
tendencjach wieloletnich – jak wskazują pomiary – jednoznacznie pozytywnych (ryc. 13).

Niewielkie pogorszenie jakości opadów atmosferycznych, tzn. obniżenie wartości pH opadu do klasy gorszej i podwyższenie SEC, zaszło w przypadku Stacji w Puszczy Boreckiej, Storkowie i Szymbarku. Należy przy tym dodać, iż jest to nieznaczne pogorszenie jakości. Pogorszenie jakości opadu pH opadu przy równoczesnej poprawie pod względem ilości zawartych w wodzie opadowej składników rozpuszczonych zaszło w Białej Górze i Kampinosie. W Stacji Święty Krzyż jakość opadów uległa wyraźnemu pogorszeniu – obniżyło się ph do klasy znacznie obniżone oraz podwyższyło przewodnictwo do klasy mocno podwyższone. Natomiast dla Koniczynki stwierdzono poprawę jakości opadów, tzn. obniżenie odczynu z lekko podwyższonego do normalnego jednak przy równoczesnym zwiększeniu się ilości związków rozpuszczonych w wodach opadowych.

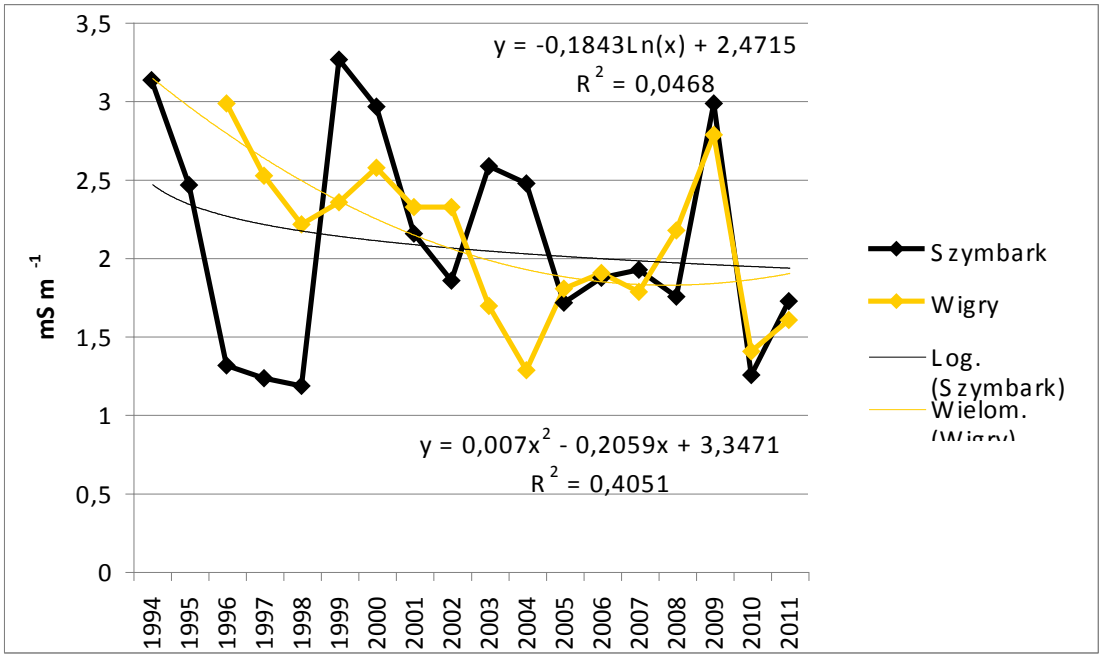


Ryc. 13. Zmiany klasyfikacji pH/SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w roku hydrologicznym 2011 w stosunku do roku 2010

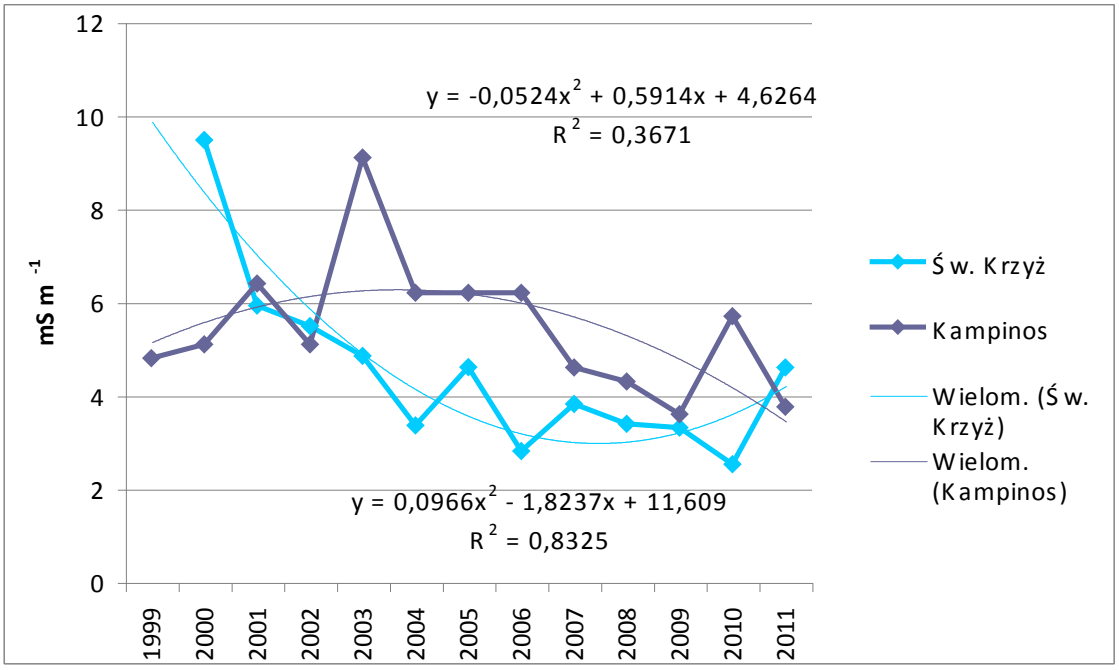
Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej wskazuje na korzystny trend obniżania się zawartości składników rozpuszczonych w wodach opadowych w większości Stacji Bazowych. W latach hydrologicznych 1994-2011 sumaryczna ilość składników rozpuszczonych w wodach opadowych w Stacji Puszcza Borecka, Storkowo i Wigry spadała osiągając w roku hydrologicznym 2011 wartość od 2 do 3,5-krotnie niższą w stosunku do połowy lat 90-tych (ryc. 14, 15). W przypadku Stacji Święty Krzyż tylko od roku 2000 przewodność elektrolityczna obniżyła się 4-krotnie (ryc. 16). Znacznie mniej wyraźne trendy spadkowe przewodności elektrolitycznej występują w przypadku Stacji Szymbark i Kampinos (ryc. 15, 16).



Ryc. 14. Zmiany przewodności elektrolitycznej wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka i Storkowo w latach hydrologicznych 1994-2011



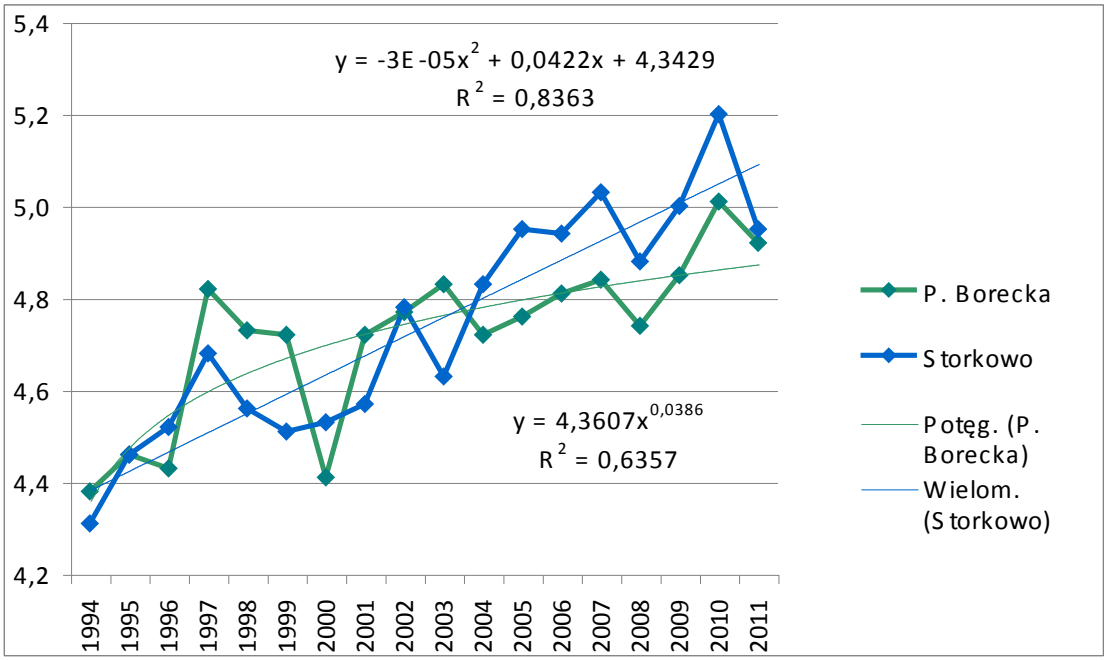
Ryc. 15. Zmiany przewodności elektrolitycznej wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Szymbark i Wigry w latach hydrologicznych 1994-2011



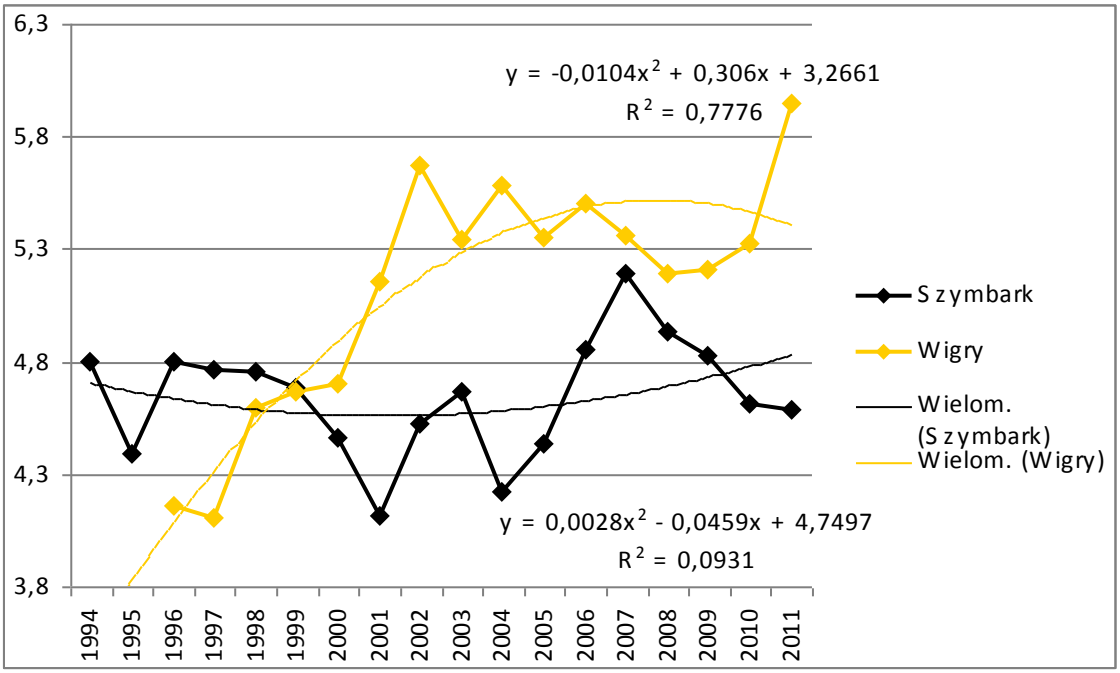
Ryc. 16. Zmiany przewodności elektrolitycznej wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Święty Krzyż i Kampinos w latach hydrologicznych 1994-2011

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że w większości Stacji Bazowych w wieloleciu 1994-2011 zaznacza się wyraźny, systematyczny wzrost pH wód

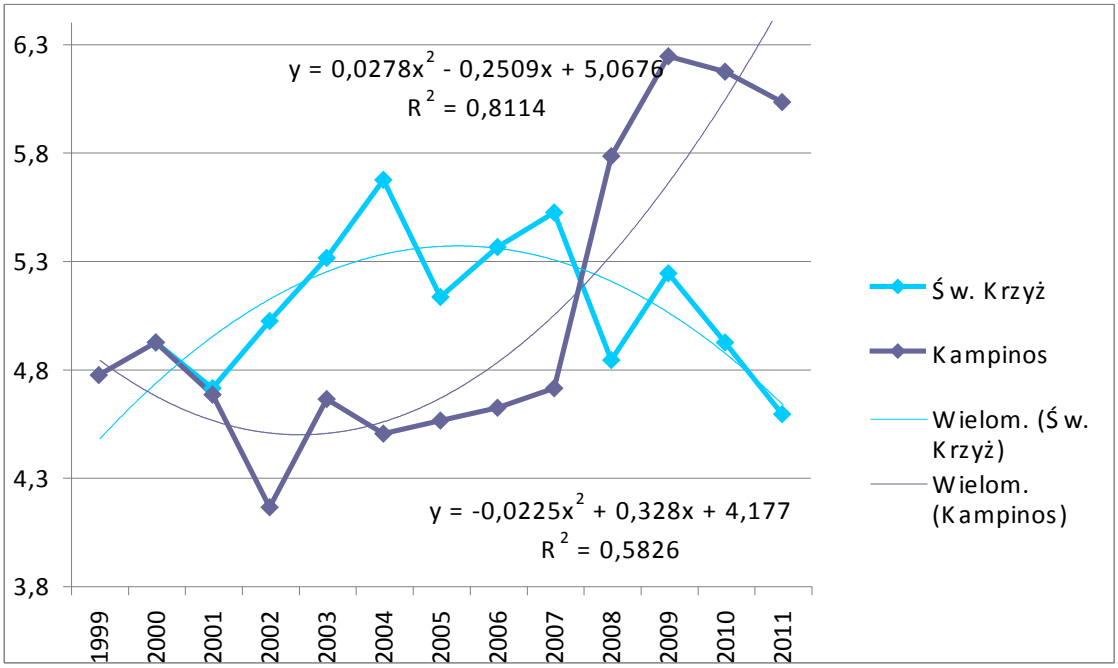
opadowych (ryc. 17, 18, 19). W Stacjach Storkowo i Puszcza Borecka (ryc. 17) pH z poziomu charakterystycznego dla wód znacznie zakwaszonych (w połowie lat 90. XX w.) wzrosło do poziomu zbliżonego lub charakterystycznego dla klasy „pH normalne" w ostatnich latach. W Stacji Bazowej Wigry pH wód opadowych w latach 1995 i 1996 było znacznie obniżone, a od 2001 roku utrzymuje się w klasie „normalne", (ryc. 18). Natomiast praktycznie brak jednoznacznych trendów podwyższania wartości pH wód opadowych można natomiast stwierdzić w przypadku Stacji Szymbark, a w przypadku Stacji Święty Krzyż zauważalna jest tendencja do obniżania odczynu opadów (ryc. 18, 19).



Ryc. 17. Zmiany pH wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka i Storkowo w latach hydrologicznych 1994-2011

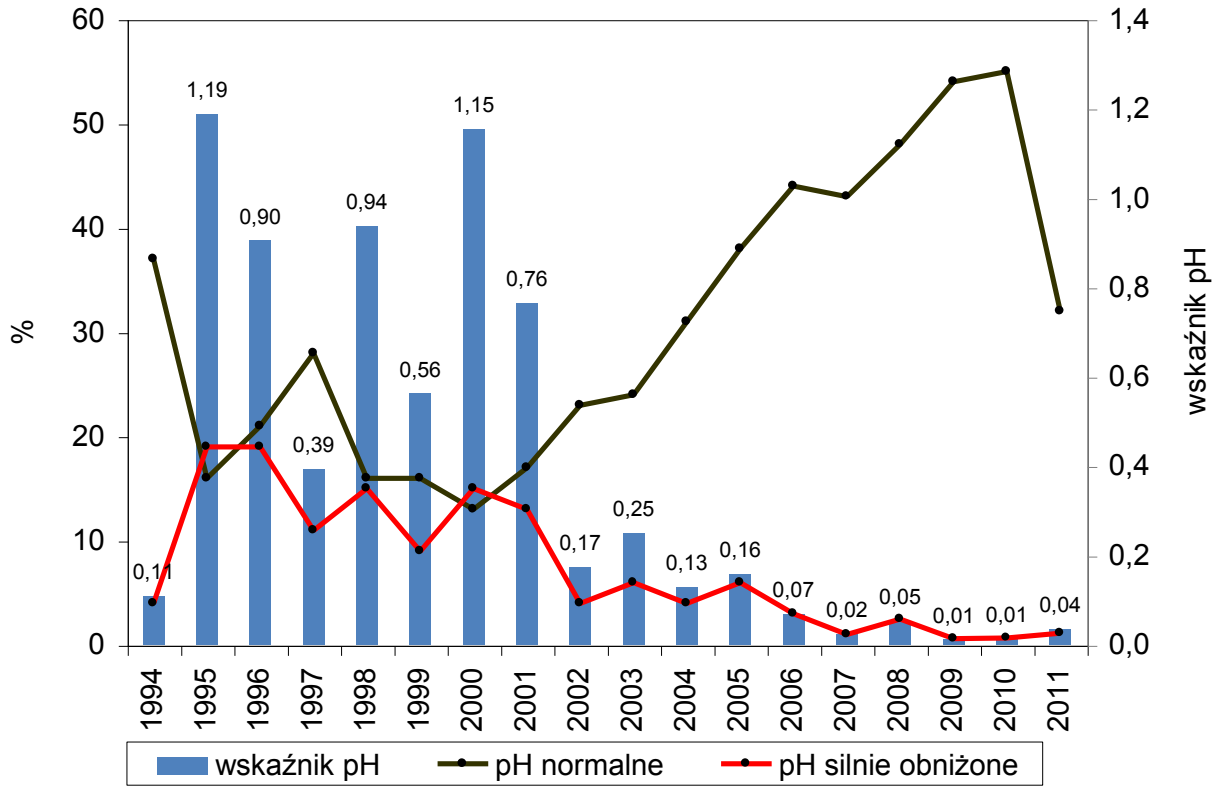


Ryc. 18. Zmiany pH wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Szymbark i Wigry w latach hydrologicznych 1994-2011



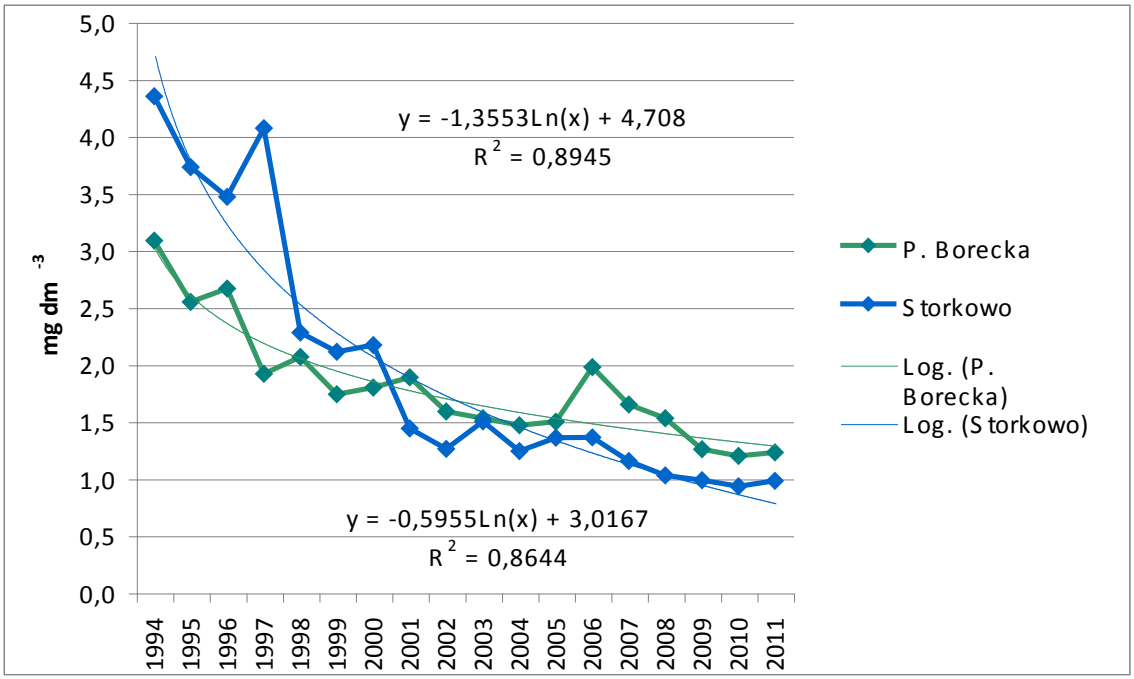
Ryc. 19. Zmiany pH wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Święty Krzyż i Kampinos w latach hydrologicznych 1994-2011

Zmniejszanie zakwaszenia wód opadowych (jak i zawartości składników rozpuszczonych) jest przejawem polepszającej się jakości powietrza, dzięki czemu coraz rzadziej pojawiają się opady o silnym zakwaszeniu wyrażonym odczynem pH poniżej wartości 4,1. Na przykładzie wód opadowych badanych w Stacji Bazowej w Storkowie (ryc. 20) można zauważyć, że począwszy od połowy lat 90-tych maleje udział dni z opadami o pH silnie obniżonym (<4,1): do roku 2001 udział takich dni wynosił 4-19%, w kolejnych latach wartość ta nie przekraczała 6%, w roku 2009 i 2010 wystąpiło tylko po jednym dniu z opadem o pH poniżej 4,1, a w roku 2011 dwa dni. Jednocześnie wzrasta ilość dni z opadami o pH normalnym (wartości w przedziale 5,1-6,1): w latach 1994-2001 ich roczny udział mieścił się w zakresie 15-37%, a po roku 2001 w zakresie 23-55% (ryc. 20). Poprawę jakości wód opadowych w kolejnych latach dobrze oddaje *wskaźnik pH opadów atmosferycznych* (ryc. 20). Jego wartość w Storkowie w latach 1994-2010 systematycznie obniża się, od wartości powyżej 1 jeszcze w roku 2000 do 0,01 w roku 2009 i 2010 i 0,04 w roku 2011.

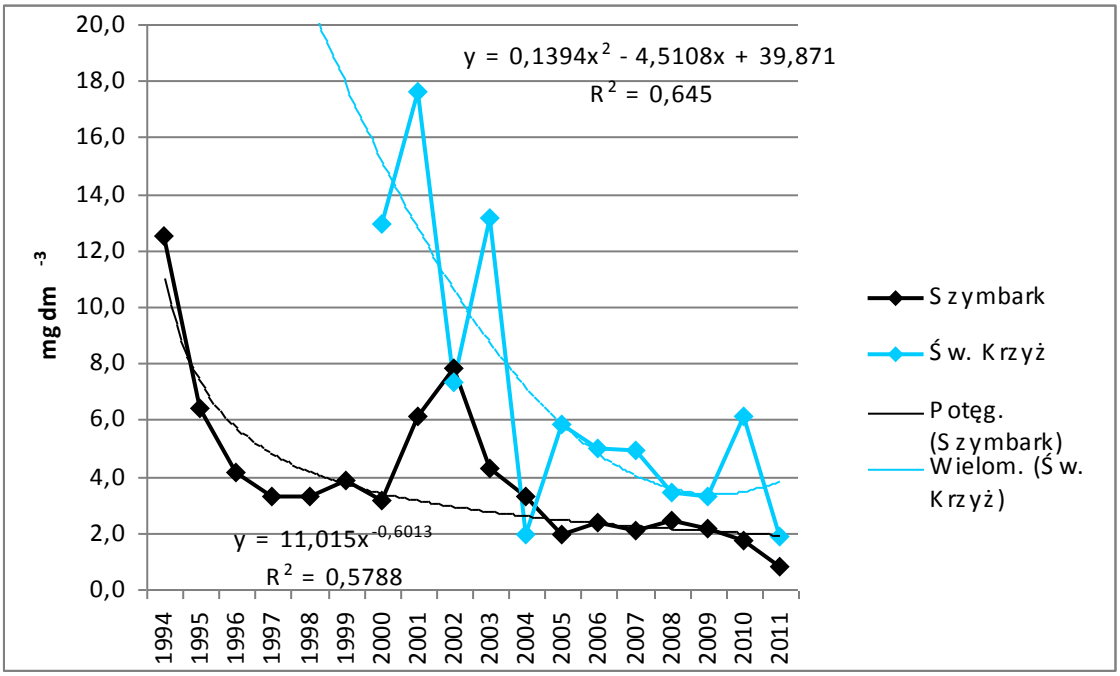


Ryc. 20. Udział opadów o pH normalnym i pH silnie obniżonym oraz wskaźnik pH opadów w latach hydrologicznych 1994-2011 w Storkowie

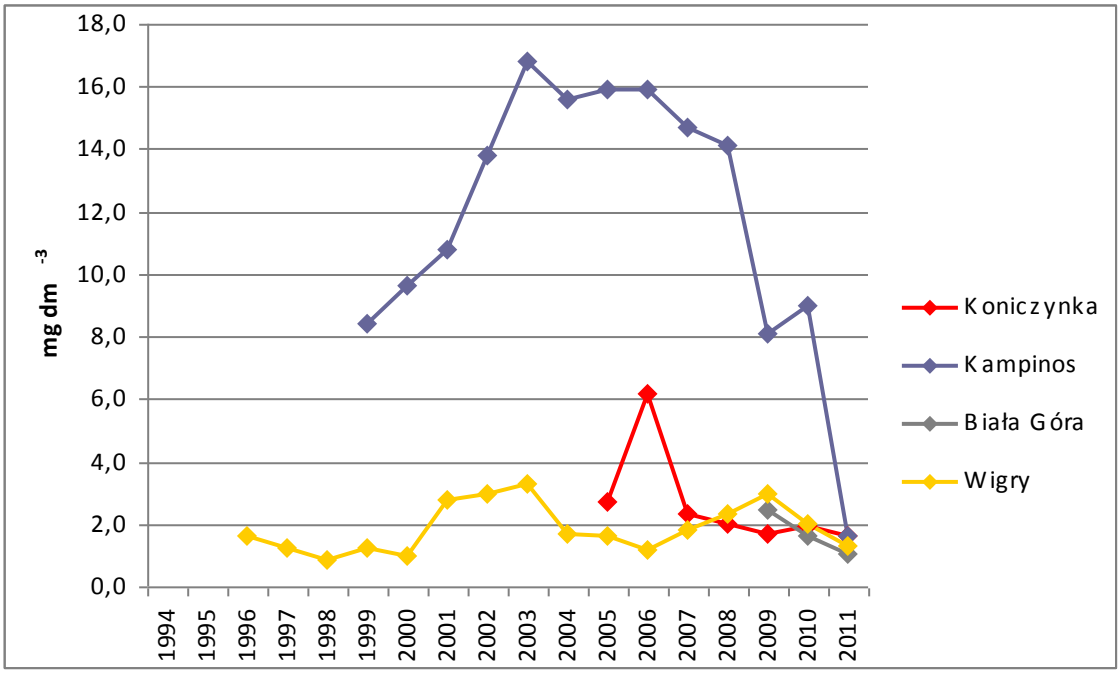
Przyczyny zmniejszenia kwasowości wód opadowych wiążą się głównie z ograniczaniem emisji do atmosfery dwutlenku siarki – gazu pochodzącego w największym stopniu ze spalania paliw kopalnych i uważanego za główny czynnik kwasotwórczy. Zmniejszanie emisji SO_2 notuje się w krajach europejskich, w tym również w Polsce (m.in. Stan środowiska w Polsce 1998). Opracowania GUS (Ochrona Środowiska 2005, 2010) wskazują na 2,5-krotny spadek emisji SO_2 w Polsce w latach 1995-2008. Malejąca ilość SO_2 w atmosferze przekłada się nie tylko na wzrost pH opadów atmosferycznych, ale również na spadek zawartości siarczanów w wodach opadowych, co daje się zaobserwować w wynikach badań niektórych Stacji Bazowych ZMŚP (ryc. 21). W Storkowie zawartość siarczanów w opadach spadła 4-krotnie w porównaniu z połową lat 90-tych, w Puszczy Boreckiej – ok. 3-krotnie (ryc. 21), a na Świętym Krzyżu 4-krotny spadek notuje się od roku 2001 (ryc. 22). Jednoznacznej tendencji spadkowej zawartości siarczanów w wodach opadowych nie stwierdzono w Kampinosie (ryc. 23). Dla tej Stacji Bazowej w latach 2001-2008 stężenia siarczanów utrzymywały się na wysokim poziomie - ponad 12 mg dm^{-3}. W ostatnich dwóch latach obniżyły się natomiast do wartości występujących w latach 1999-2000, tj. około 8 mg dm^{-3}.



Ryc. 21. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka i Storkowo w latach hydrologicznych 1994-2011

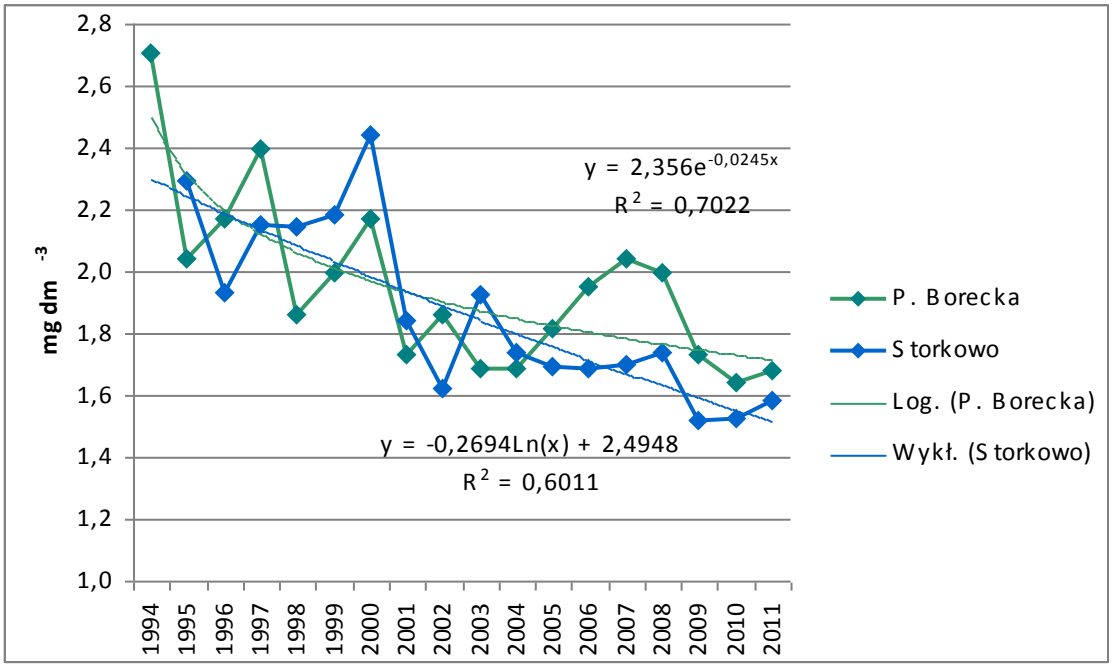


Ryc. 22. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Święty Krzyż i Szymbark w latach hydrologicznych 1994-2011

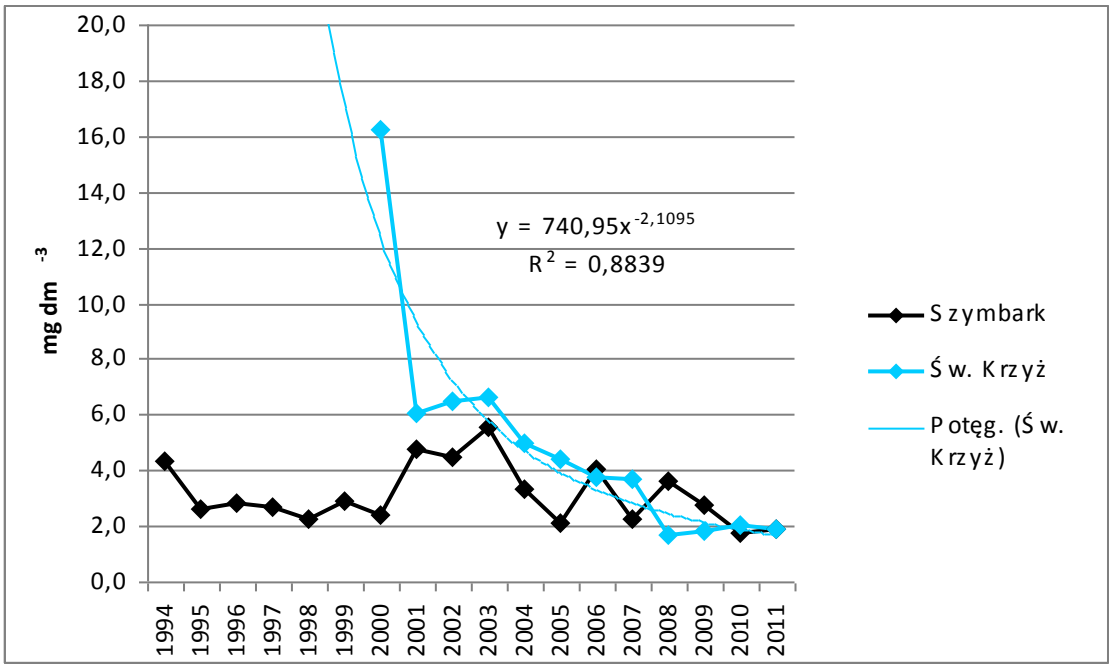


Ryc. 23. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Koniczynka, Kampinos i Święty Krzyż w latach hydrologicznych 1994-2011

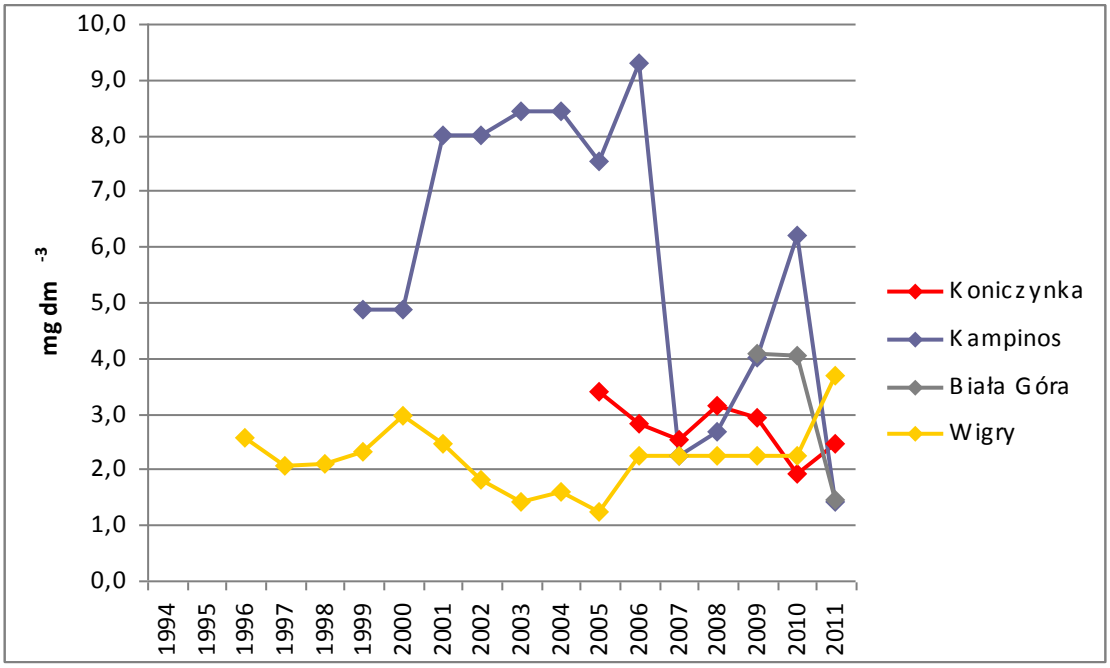
Drugim czynnikiem wywołującym zakwaszenie wód opadowych są tlenki azotu, pochodzące głównie ze spalania paliw płynnych, w związku z czym zagrożeniem dla jakości opadów atmosferycznych wydaje się być rozwój motoryzacji i nasilenie transportu w Polsce. Tymczasem wg GUS (Ochrona Środowiska 2005, 2008) emisja NOx w Polsce w ostatnich latach spadła o 30% w stosunku do połowy lat 90-tych. Odzwierciedleniem ograniczenia emisji tlenków azotu są malejące stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych, co obserwuje się w niektórych Stacjach Bazowych ZMŚP (ryc. 24, 25). Jednocześnie należy zaznaczyć, że spadek stężeń azotanów nie jest tak duży jak w przypadku siarczanów: w Storkowie spadek od lat 90-tych do dziś wynosi około 30%, a w Puszczy Boreckiej około 40% (ryc. 24). Jedynie na Świętym Krzyżu notowano większe zmiany: od roku 2000 stężenie azotanów spadło do poziomu 8 razy niższego (ryc. 25).



Ryc. 24. Zmiany stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka i Storkowo w latach hydrologicznych 1994-2011



Ryc. 25. Zmiany stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Święty Krzyż i Szymbark w latach hydrologicznych 1994-2011

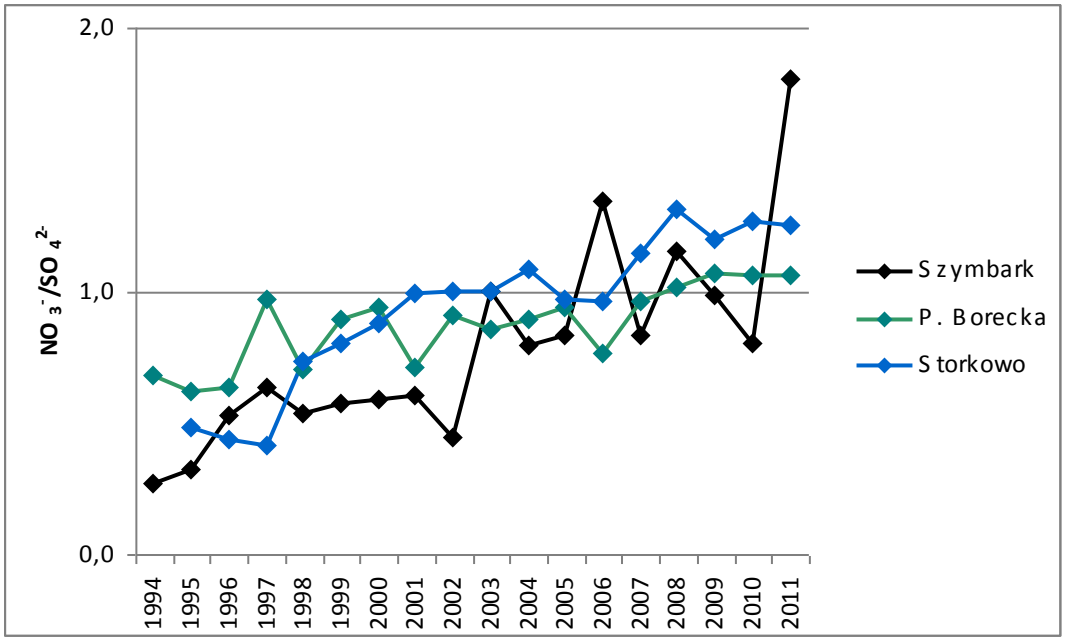


Ryc. 26. Zmiany stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Koniczynka, Kampinos, Biała Góra i Wigry w latach hydrologicznych 1994-2011

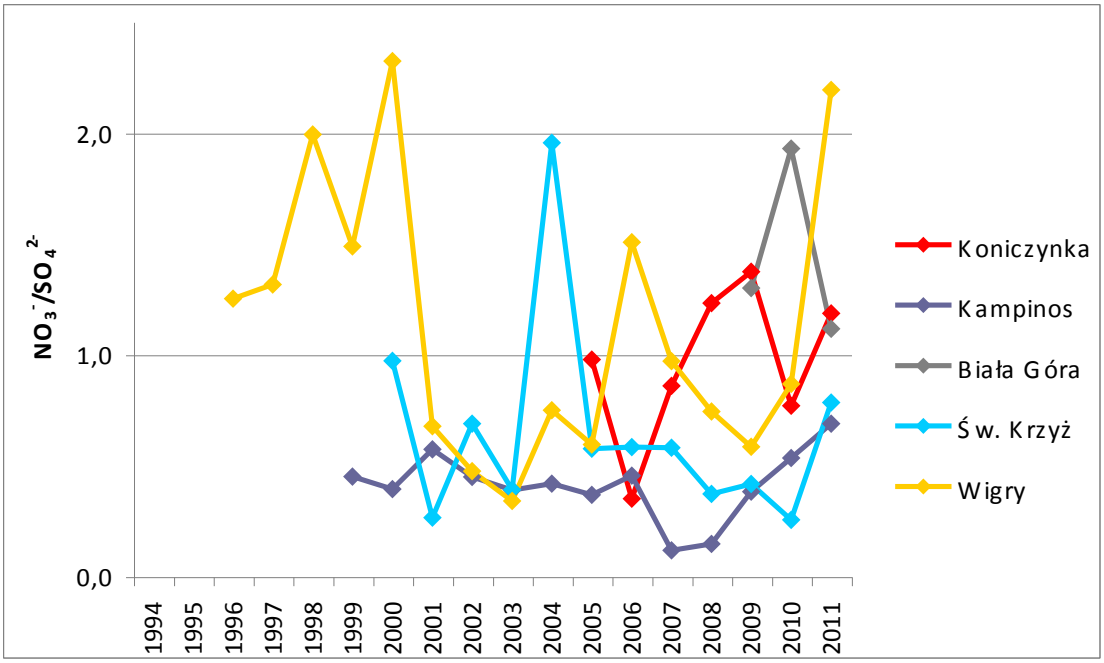
Powszechnie w literaturze uważa się, że za kwasowość opadów atmosferycznych w około 60-70% odpowiada dwutlenek siarki, zaś tlenki azotu za pozostałe 30-40% (Isidorow, Jaroszyńska 1998, Trzeciak 1995). Siedemnastoletnie obserwacje chemizmu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na zachodzące 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 w dostępnych okresach obserwacji wskazuje na:

- wzrostowy trend udziału tlenków azotu w zakwaszaniu wód opadowych w Stacjach Storkowo, Puszcza Borecka i Szymbark (dla lat 1994-2011) (ryc. 27),
- przewagę NOx nad SO_2 w zakwaszaniu opadów w Storkowie, Puszczy Boreckiej i Szymbarku w ostatnich latach (ryc. 27),
- zwiększenie udziału NOx nad SO_2 w zakwaszaniu opadów, które nastąpiło wyraźnie w roku 2011 w Wigrach i Koniczynce (ryc. 28),
- większy udział SO_2 w stosunku do NOx w zakwaszaniu opadów w Stacjach Kampinos i Święty Krzyż (w dostępnym wieloleciu 1999-2011) (ryc. 28).



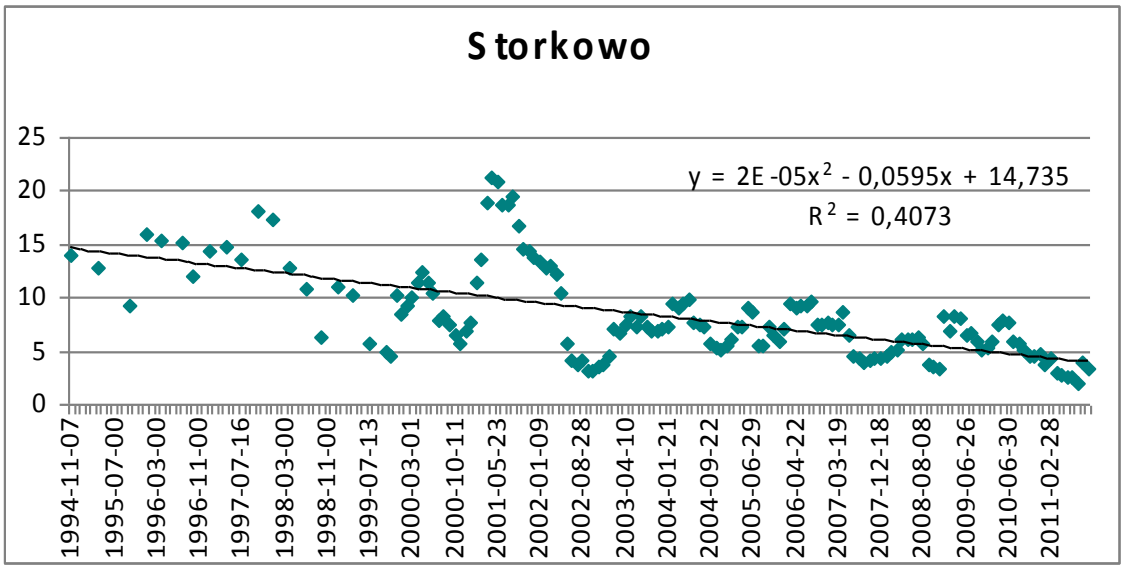
Ryc. 27. Zmiany *wskaźnika udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych* w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszcza Borecka, Storkowo i Szymbark w latach hydrologicznych 1994-2011



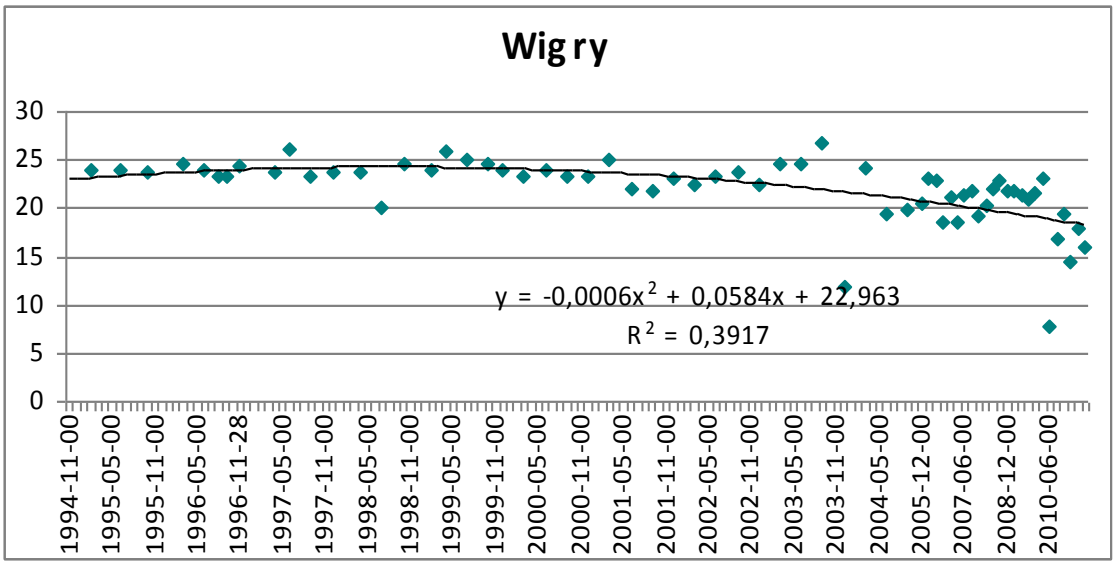
Ryc. 28. Zmiany *wskaźnika udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych* w Stacjach Bazowych ZMŚP Koniczynka, Kampinos, Biała Góra, Święty Krzyż i Wigry w latach hydrologicznych 1994-2011

8.2. Wskaźniki jakości wód podziemnych

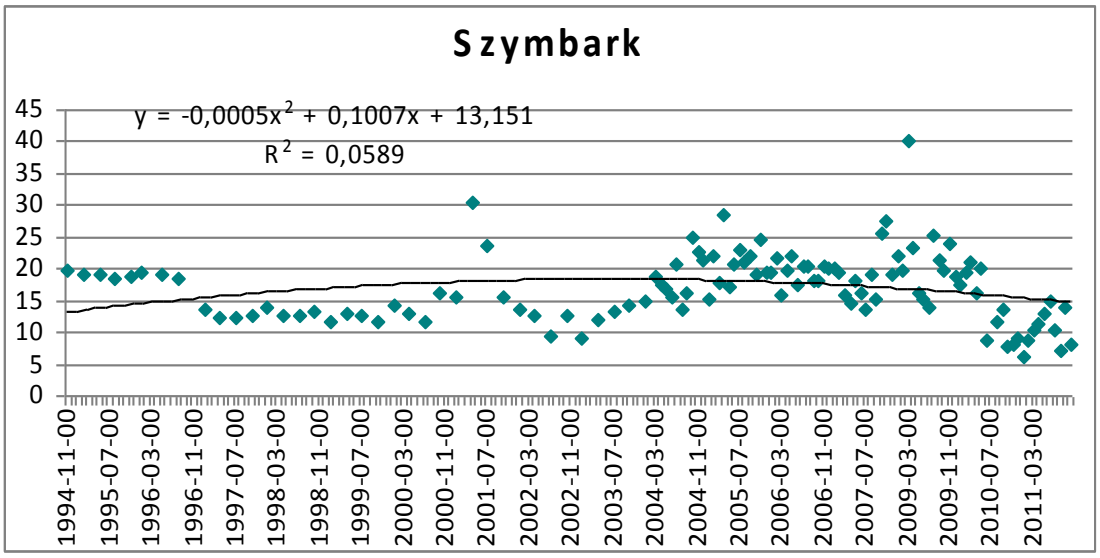
Siarka w roztworach glebowych oraz w wodach podziemnych pochodzi z depozycji tego pierwiastka z atmosfery oraz z procesów geochemicznym zachodzących w glebie. Siarka ma mniejsze znaczenie niż azot w procesach biosyntezy, stąd jej wysokie stężenia notowane w profilu glebowym niezależnie od głębokości. W części Stacji Bazowych dane wieloletnie potwierdzone kolejnymi wartościami z roku 2010 wskazują na zmniejszanie się ilości siarki w wodach podziemnych. Prawdopodobnie przyczyna tego zjawiska jest zmniejszanie się ilości siarki w powietrzu oraz opadach atmosferycznych. Wyraźne zmniejszanie się stężeń siarki siarczanowej stwierdzono w wodach podziemnych w Storkowie (ryc. 29) oraz w w Stacji Bazowej Wigry (ryc. 30). W innych Stacjach te trendy wieloletnie są dotychczas słabo widoczne, np. w Szymbarku (ryc. 31).



Ryc. 29. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w wodach podziemnych w zlewni Chwalimskiego Potoku w Stacji Bazowej ZMŚP Storkowo w latach hydrologicznych 1995-2011



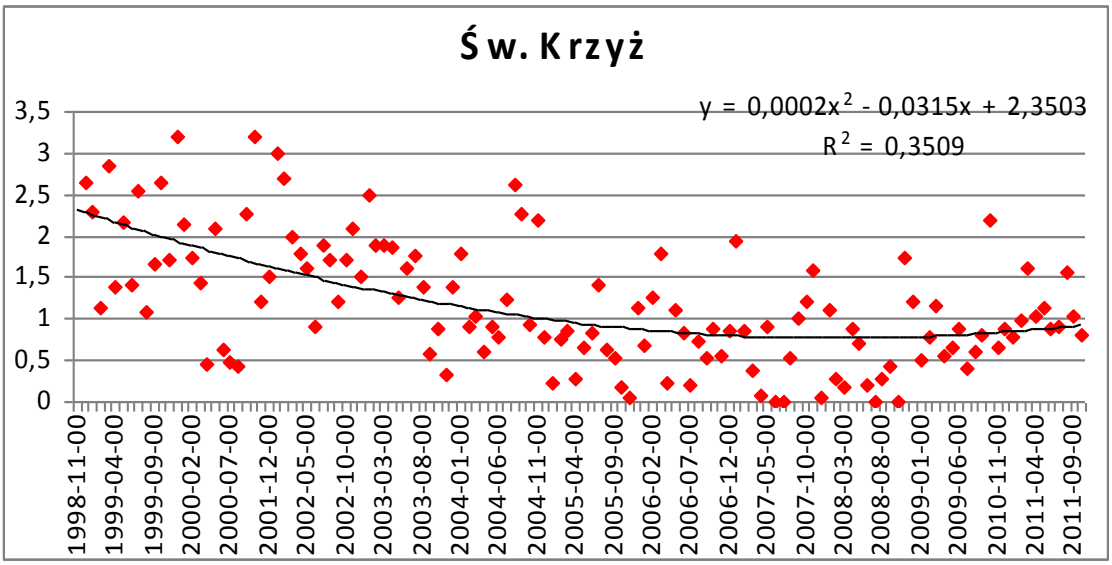
Ryc. 30. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w Stacji Bazowej ZMŚP Wigry w latach hydrologicznych 1995-2011



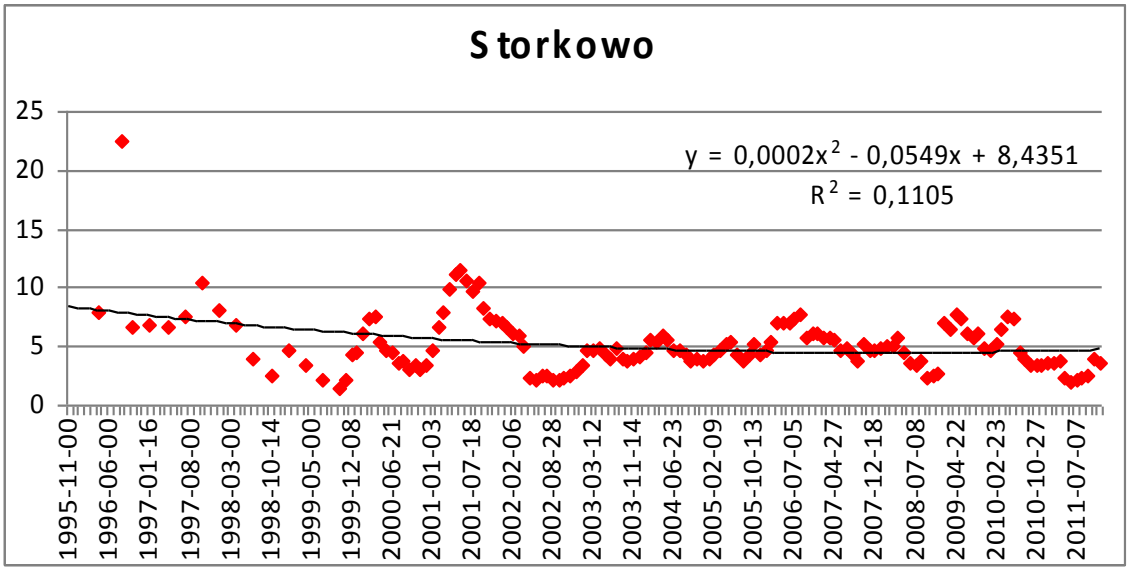
Ryc. 31. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w piezometrze w zlewni Bystrzanki w Stacji Bazowej ZMŚP Szymbark w latach hydrologicznych 1995-2011

Dostawa atmosferyczna jest ważnym źródłem ładunku azotu docierającego do wód podziemnych. Większa część tego składnika jest wykorzystywana przez roślinność w procesach biologicznych. Do zwiększonego zapotrzebowania szaty roślinnej na azot dochodzi zwłaszcza na powierzchniach leśnych. Bilans ładunków docierających z opadem atmosferycznym do koron drzew, opadu śródokapowego, spływu po pniach i odpływu wód glebowych/podziemnych wskazują, że zapotrzebowanie na azot jest większe niż depozycja atmosferyczna. Można zatem uznać, że związki azotu na obszarach leśnych nie powodują zakwaszania gleby, są one bowiem wykorzystywane przez rośliny w procesie biosyntezy.

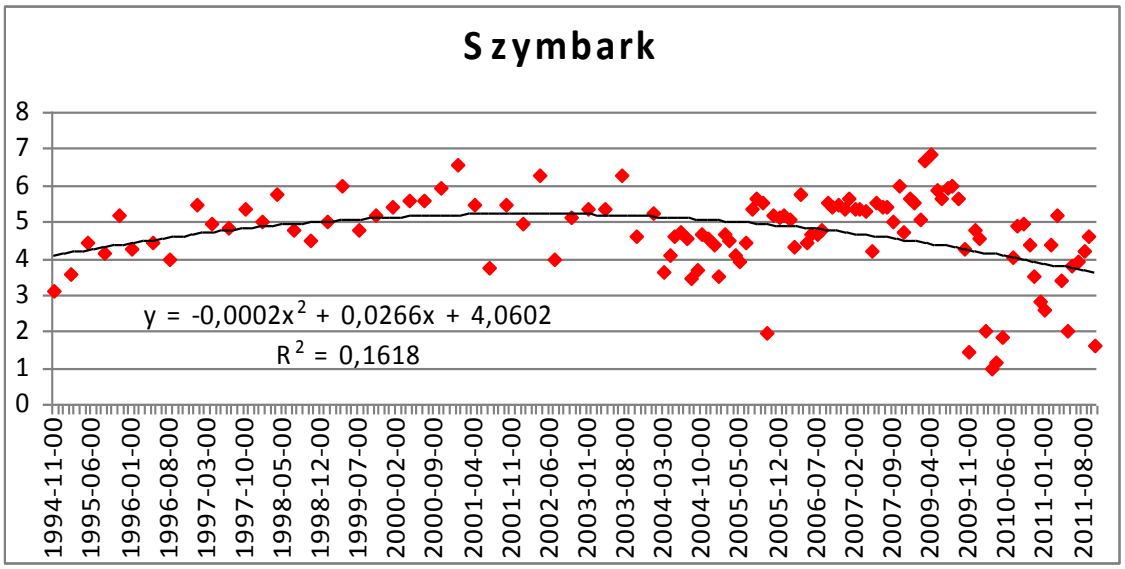
W niektórych Stacjach Bazowych dane wieloletnie chemizmu wód podziemnych wskazują na trend spadkowy stężeń azotu azotanowego, co zapewne wiąże się ze zmniejszaniem zanieczyszczeń powietrza i opadu atmosferycznego. Najlepiej tendencję do obniżania stężeń azotu w wodach podziemnych można zaobserwować dla źródeł w Świętym Krzyżu oraz dla piezometrów w Storkowie (ryc. 32, 33). W większości Stacji Bazowych są to jednak trendy spadkowe słabe (np. dla Szymbarku w latach 1995-2011, ryc. 34), a w niektórych Stacjach zauważa się wręcz słabe trendy wzrostowe (np. w Koniczynce w latach 1996-2011, ryc. 35), co może wynikać z intensywnego nawożenia gruntów rolnych.



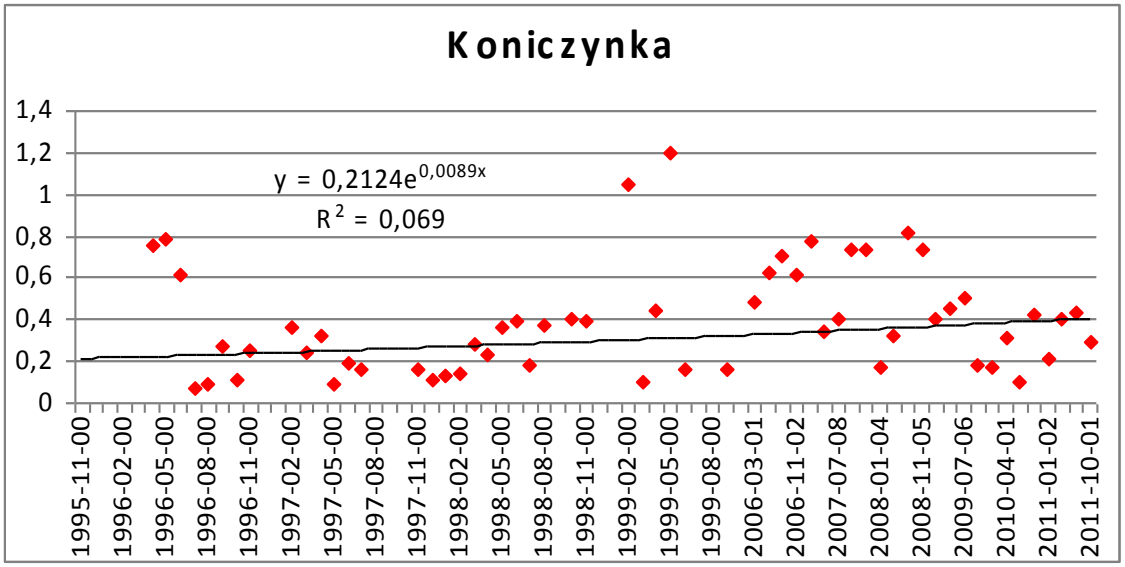
Ryc. 32. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] w źródle w Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż w latach hydrologicznych 1999-2011



Ryc. 33. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] w wodach podziemnych w zlewni Chwalimskiego Potoku w Stacji Bazowej ZMŚP Storkowo w latach hydrologicznych 1996-2011



Ryc. 34. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] w wodach podziemnych w zlewni Bystrzanki w Stacji Bazowej ZMŚP Szymbark w latach hydrologicznych 1995-2011



Ryc. 35. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] wodach podziemnych w Stacji Bazowej ZMŚP Koniczynka w latach hydrologicznych 1996-2011

8.3. Wskaźniki jakości wód powierzchniowych

Wszystkie Stacje Bazowe prowadziły w roku 2011 monitoring wód powierzchniowych. Odpływ powierzchniowy ze zlewni stanowi podstawową drogę odprowadzania z geoekosystemu substancji rozpuszczonych i zawiesiny. Najważniejsze źródła substancji obecnych w odpływie powierzchniowym to: dostawa atmosferyczna, zasilanie z wód podziemnych, obieg biologiczny oraz procesy

denudacyjne. 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.

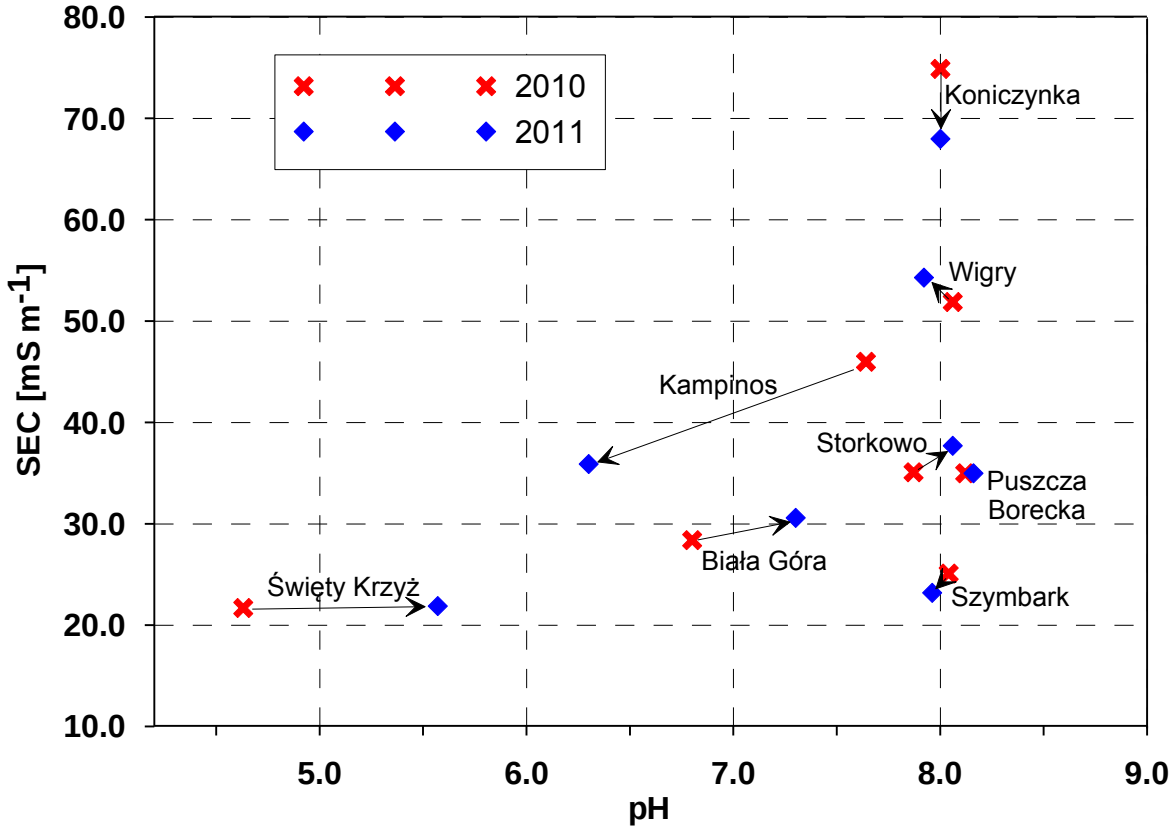
Odprowadzanie jonów rozpuszczonych w wodach powierzchniowych odprowadzanych ze zlewni badawczych Stacji Bazowych zależy głównie od budowy geologicznej, litologii i typu zasilania hydrogeologicznego. Są to uwarunkowania regionalne, stabilne w czasie. Do uwarunkowań lokalnych zmieniających się okresowo i sezonowo należy zaliczyć zmiany przepływu w ciekach w różnych porach roku hydrologicznego. Sezonowość transportu fluwialnego jest wypadkową źródeł dostawy materiału oraz warunków hydrometeorologicznych. Badania w monitorowanych zlewniach w roku 2011 potwierdzają, że przebieg przewodności właściwej (SEC), która jest wskaźnikiem mineralizacji wód rzecznych, zależy od rozkładu przepływu. Zależność ta ma charakter odwrotnie proporcjonalny i najwyższe wartości przyjmuje podczas niskich stanów wód. Wysokie stany związane z roztopami pokrywy śnieżnej i wysokimi sumami opadów atmosferycznych przyczyniały się do rozcieńczenia wód rzecznych i tym samym do spadku mineralizacji.

Analiza wartości średnich rocznych pH i przewodności elektrolitycznej wód powierzchniowych objętych monitoringiem wskazuje, że w większości przypadków należą one do wód o pH obojętnym lub lekko zasadowym i są średnio i wysoko zmineralizowane (ryc. 36). Wyjątkiem jest zlewni w Stacji Bazowej Święty Krzyż, gdzie wody cieków są kwaśne.

Największe zmiany miedzy wartościami pH i SEC mierzonymi w roku 2010 a w roku 2011 zaszły w Kampinosie, Świętym Krzyżu i Białej Górze. Są to zmiany różnokierunkowe. W zlewni Świętego Krzyża wzrosło pH odpływu przy nieznacznym wzroście SEC. Z kolei w Kampinosie obniżył się wyraźnie odczyn wód w cieku przy nieznacznym spadku przewodności. W Białej Górze wzrosło nieco pH i nieznacznie SEC. W pozostałych Stacjach Bazowych nie zaszły istotne zmiany między rokiem 2011 a rokiem poprzednim. Warto podkreślić, iż zjawiskiem pożądanym wobec wysokiej mineralizacji wód Strugi Toruńskiej, jest stwierdzone w roku 2011 pewne obniżenie stężeń składników rozpuszczonych w tych wodach.

Główny udział w zasilaniu badanych cieków mają wody podziemne. Wyjątek stanowią wody śródleśnego potoku na Świętym Krzyżu, w przypadku, których zarówno pH jak i przewodność elektrolityczna wskazują na dominację zasilania

opadowego oraz ograniczone właściwości buforowe pokrywy glebowej w stosunku do dostawy atmosferycznych związków kwasogennych (ryc. 36).



Ryc. 36. Rozkład średnich rocznych wartości pH i przewodności elektrolitycznej wód rzecznych w roku hydrologicznym 2010 i 2011 w zlewniach badawczych Stacji Bazowych ZMŚP

Analiza składu chemicznego wód powierzchniowych w Stacjach Bazowych pozwala zaliczyć je wg klasyfikacji Szczukariewa do wód prostych: wodorowęglanowo-wapniowych (Parsęta, odpływ z jeziora Łękuk, Lewińska Struga, Struga Toruńska), wodorowęglanowo- siarczanowo-wapniowe (Bystrzanka i Kanał Olszowiecki), wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe (Czarna Hańcza) oraz siarczanowo-wapniowo-magnezowe (odpływ C6 w stacji Święty Krzyż) (tab. 9).

Należy szczególnie podkreślić to, że wody prawie wszystkich rzek badanych w Stacjach Bazowych w roku 2011 (poza Struga Toruńską w profilu Koniczynka), podobnie jak i w latach poprzednich, są wodami stosunkowo czystymi. Pod względem klas jakości dla części badanych składników mieszczą się w klasie I (najczęściej dla temperatury, przewodności, odczynu, zawiesiny, azotu amonowego i azotu azotanowego, siarczanów, chlorków, wapnia i magnezu. W II klasie jakości najczęściej mieszczą się stężenia takich

składników jak fosfor ogólny oraz BZT5, natomiast do klas III, IV i V wody rzeczne spadają najczęściej w zakresie ilości tlenu rozpuszczonego.

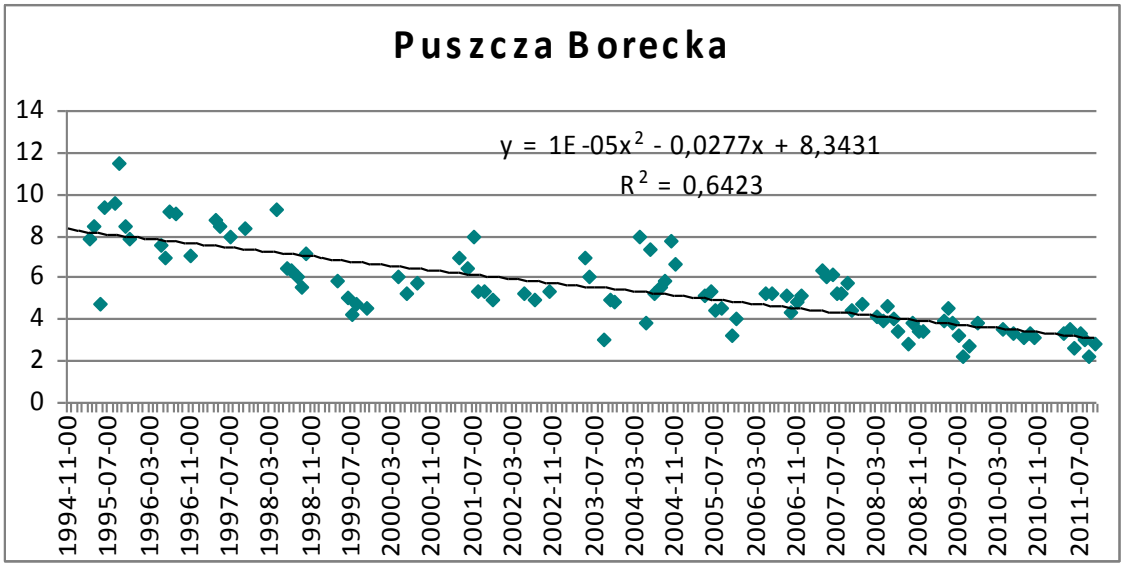
Tabela 9. Średni skład jonowy i klasyfikacja hydrochemiczna wg Szczukariewa dla wód powierzchniowych W Stacjach Bazowych w roku hydrologicznym 2011

Stacja Bazowa	średni skład chemiczny	typ hydrogeochemiczny
Szymbark Bystrzanka	$\frac{HCO_3^{61}SO_4^{27}Cl^{7}}{Ca^{70}Mg^{13}Na^{13}}$	wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowe
Wigry Czarna Hańcza Sobolewo	$\frac{HCO_3^{74}SO_4^{12}Cl^{11}}{Ca^{63}Mg^{20}Na^{14}}$	wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe
Puszcza Borecka odpływ z jez. Łękuk	$\frac{HCO_3^{90}SO_4^{6}Cl^{4}}{Ca^{77}Mg^{18}Na^{3}}$	wodorowęglanowo-wapniowe
Storkowo Parsęta	$\frac{HCO_3^{79}SO_4^{14}Cl^{5}}{Ca^{80}Mg^{9}Na^{6}}$	wodorowęglanowo-wapniowe
Biała Góra Lewińska Struga	$\frac{HCO_3^{73}SO_4^{12}Cl^{14}}{Ca^{72}Mg^{14}Na^{12}}$	wodorowęglanowo-wapniowe
Koniczynka Struga Toruńska	$\frac{HCO_3^{73}SO_4^{9}Cl^{18}}{Ca^{71}Mg^{18}Na^{9}}$	wodorowęglanowo-wapniowe
Pożary K. Olszowiecki	$\frac{HCO_3^{71}SO_4^{20}Cl^{9}}{Ca^{80}Mg^{13}Na^{7}}$	wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowe
Święty Krzyż odpływ C6	$\frac{SO_4^{80}Cl^{13}HCO_3^{7}}{Ca^{64}Mg^{21}Na^{15}}$	siarczanowo-wapniowo-magnezowe

Uzyskane w Stacjach Bazowych w roku 2011 wartości ładunków potwierdzają, że azot należy do tych pierwiastków, które są w dużym stopniu zatrzymywane w geoekosystemach. Wyniki badań opadu i wód glebowych i podziemnych prowadzonych w zbiorowiskach leśnych wskazują, że dla niektórych ekosystemów leśnych ładunek azotu pod koronami drzew jest mniejszy niż na terenie otwartym. Można przypuszczać, że azot jest zatrzymywany w geoekosystemie już na etapie kontaktu wód opadowych z powierzchnią roślin. Zrównoważony lub dodatni bilans azotu może wskazywać, że pierwiastek ten nie odgrywa decydującej roli w procesach zakwaszania wód powierzchniowych. W porównaniu do azotu siarka jest pierwiastkiem o bilansie ujemnym – ładunek siarki odprowadzany z geoekosystemu

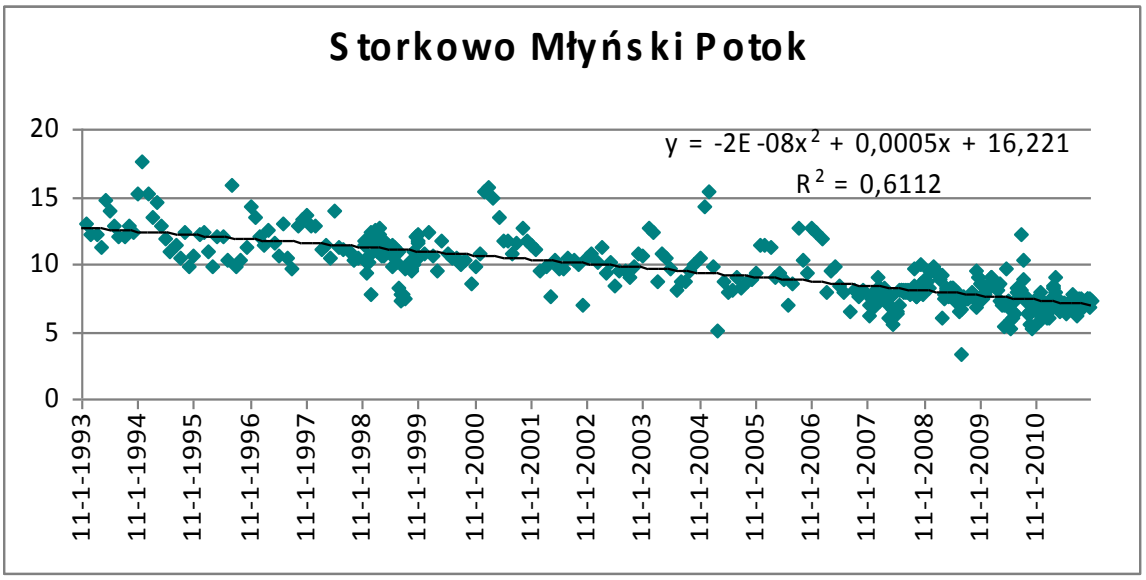
przewyższa ładunek wprowadzany z opadem atmosferycznym (Kruszyk 2010). W przypadku tych Stacji, gdzie depozycję pod koronami drzew badano zarówno w drzewostanach iglastych i liściastych (Święty Krzyż, Szymbark), zaznacza się zwiększony dopływ siarki do podłoża pod koronami drzew iglastych. Jest to efekt wydajniejszego wychwytywania zanieczyszczeń obecnych w atmosferze przez drzewostany iglaste. Siarka, która odgrywa mniejszą rolę w porównaniu do azotu w procesie biosyntezy, i jednocześnie należy do mobilnych migrantów, nie podlega znaczącej depozycji w badanych geoekosystemach.

Na przykładzie zmian czasowych stężeń jonów siarki i azotu w wodach powierzchniowych zostaną przedstawione przemiany zachodzące w monitorowanych zlewniach. Obserwowane obniżenie ilości związków siarki w powietrzu i opadach atmosferycznych daje już widoczne efekty w mniejszych stężeniach siarczanów w ciekach, o ile nie wzrosła dostawa z innych źródeł pochodzenia antropogenicznego (nawożenia, ścieków). Tego typu zmiany są jednak powolne i zachodzą na przestrzeni wieloleci. Pierwsze efekty poprawy jakości powietrza atmosferycznego i opadów są już widoczne w obniżaniu się od roku 1994 (1995) stężeń siarki siarczanowej w wodach powierzchniowych w Stacjach Bazowych Puszcza Borecka, Storkowo oraz Koniczynka (ryc. 37, 38, 39, 40). Istotny statystyczne trend wieloletni dla Puszczy Boreckiej wskazuje na duży spadek stężenia siarki siarczanowej, od około 9 mg dm^{-3} w roku 1995 do około 3 mg dm^{-3} w roku 2011 (ryc. 37).

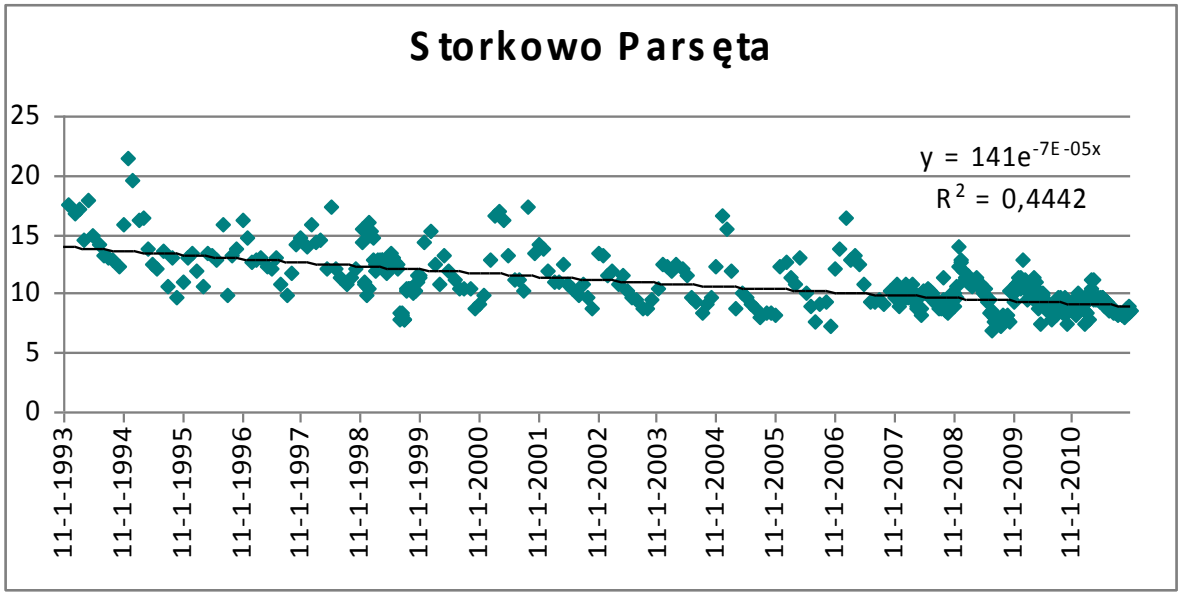


Ryc. 37. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w cieku odpływającym z jeziora Łękuk w Stacji Bazowej ZMŚP Puszcza Borecka w latach hydrologicznych 1995-2011

Wody powierzchniowe w zlewni górnej Parsęty w Storkowie mają większe stężenia siarczanów niż w zlewni jeziora Łękuk w Puszczy Boreckiej. Jednak w Storkowie również obserwuje się systematyczny ubytek siarczanów w wodach powierzchniowych. Charakterystyczne jest to, iż szybciej dochodzi do obniżania się stężeniach siarki siarczanowej w mniejszej zlewni Młyńskiego Potoku (od około 13 do około 7 mg dm^{-3}) w latach 1994-2011 (ryc. 38). Nieco wolniej, ale jest to również jednoznaczna stała tendencja, w latach 1994-2011, dochodzi do spadku zawartości jonów siarki siarczanowej w większej zlewni górnej Parsęty (od około 15 do około 9 mg dm^{-3}), co może być związane z większą bezwładnością tego geoekosystemu (ryc. 39). W przypadku wód górnej Parsęty wpływ na stopniowe obniżanie się stężenia siarki siarczanowej w wodach może mieć również porządkowanie gospodarki ściekowej prowadzone w dorzeczu Parsęty. W roku 2005 do oczyszczalni w Szczecinku podłączono wioskę Parsęcko, a w latach 2007-2008 inne miejscowości na obszarze zlewni (Radomyśl, Przeradz). Dotychczas ścieki z bytowe i rolnicze z tych wiosek były gromadzone w szambach.

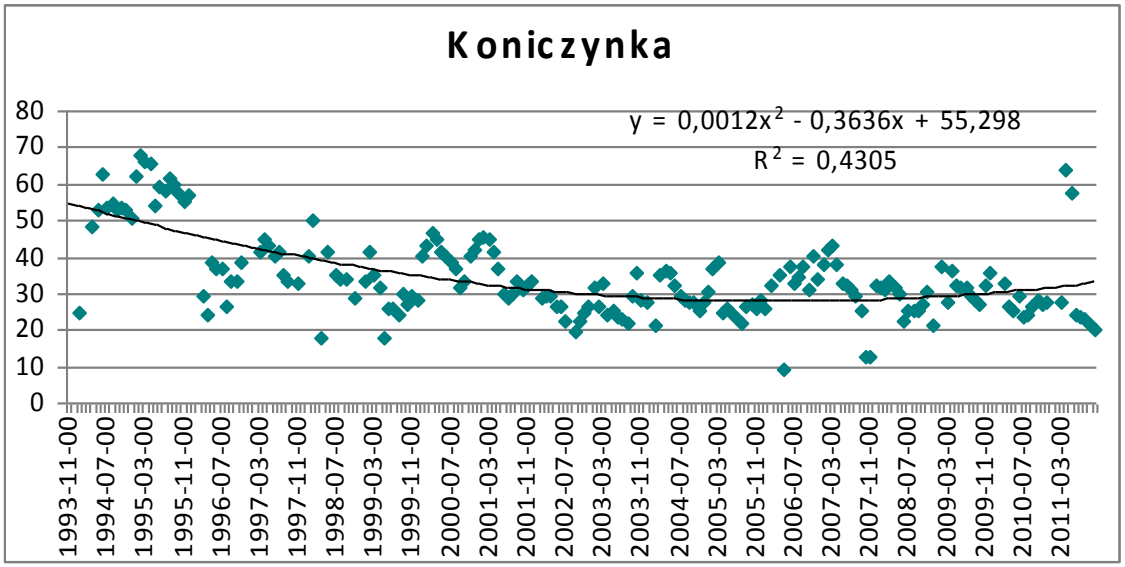


Ryc. 38. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w Młyńskim Potoku w Stacji Bazowej ZMŚP Storkowo w latach hydrologicznych 1994-2011



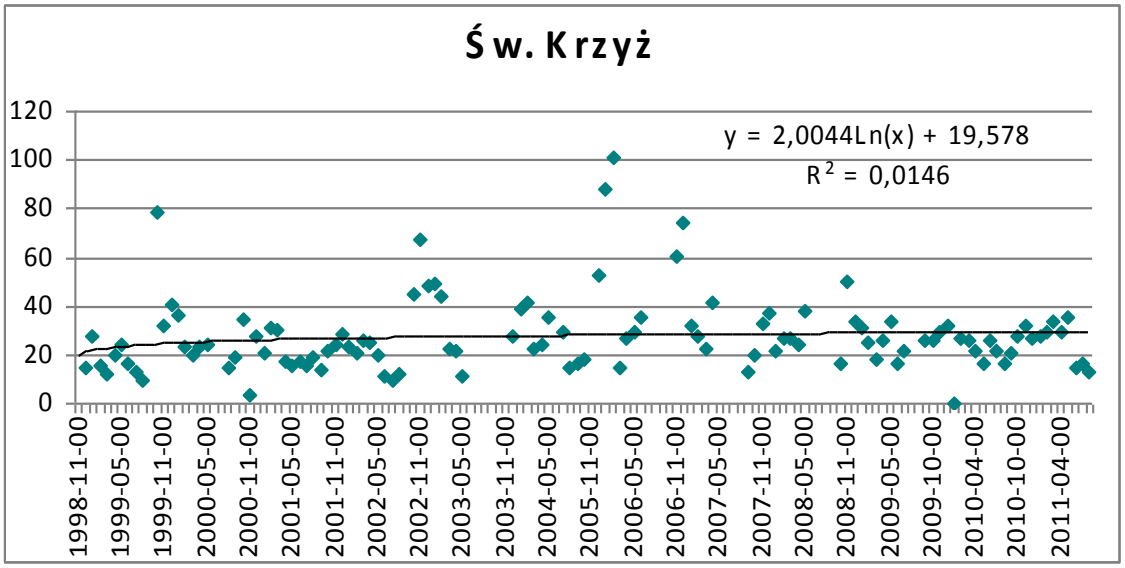
Ryc. 39. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w Parsęcie w Stacji Bazowej ZMŚP Storkowo w latach hydrologicznych 1994-2011

Podobnie jak w Puszczy Boreckiej oraz w Storkowie wyraźną tendencję do spadku stężeń siarki siarczanowej obserwuje się w wodach Strugi Toruńskiej w Koniczynce (ryc. 40), choć rejestrowane tam wartości są około 4-krotnie większe niż w wymienionych wcześniej Stacjach. W Koniczynce wyraźny spadek siarczanów zachodził w latach 1994-2003 - od około 55 do około 30 mg dm^{-3} i obecnie utrzymuje się na podobnym poziomie.

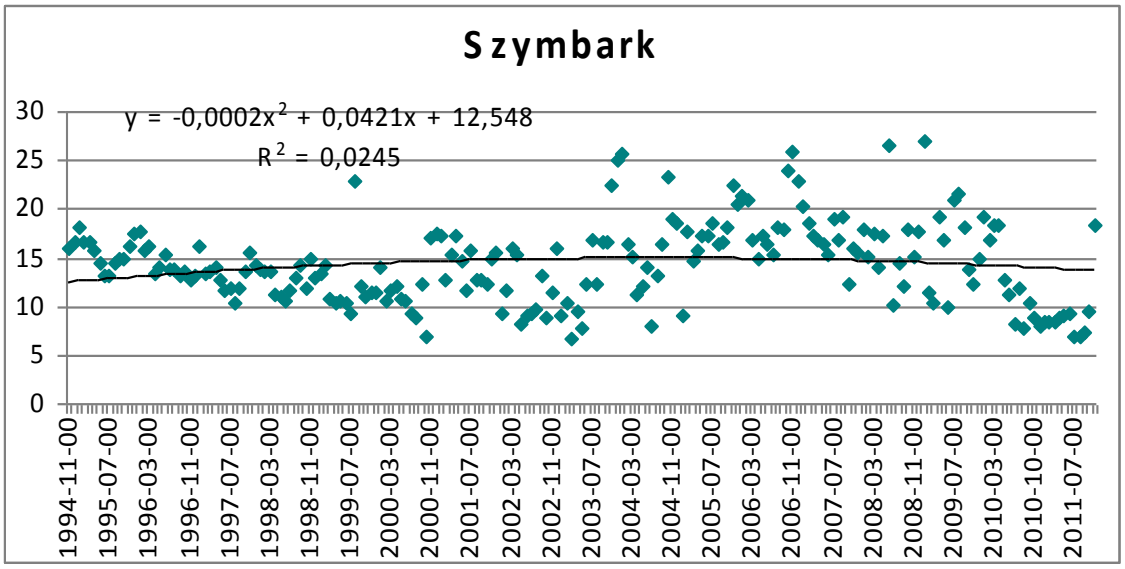


Ryc. 40. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w Strudze Toruńskiej w Stacji Bazowej ZMŚP Koniczynka w latach hydrologicznych 1994-2011

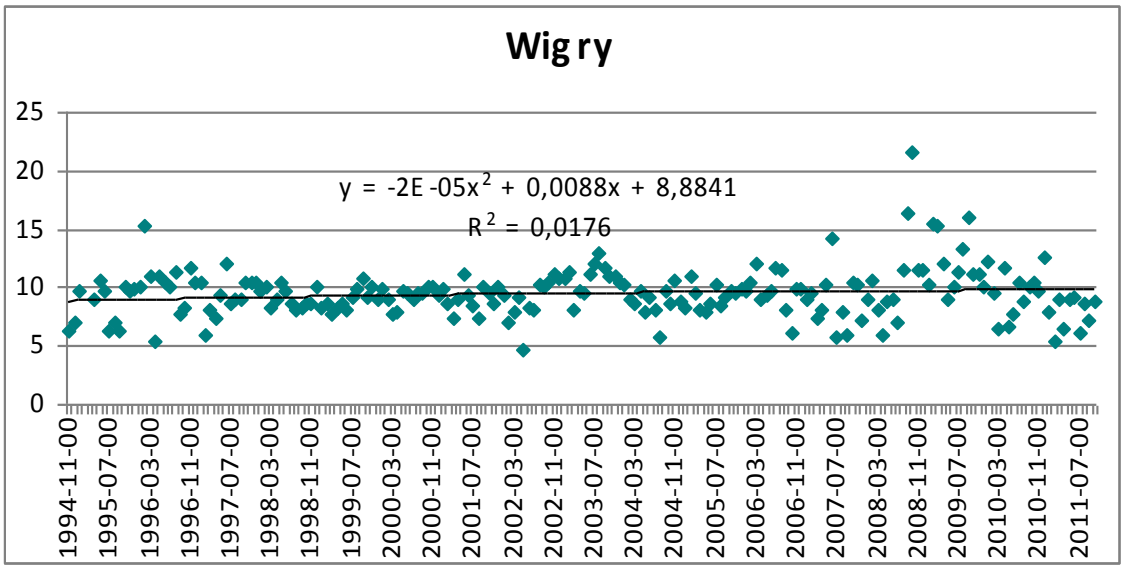
W innych Stacjach Bazowych wyraźne wieloletnie zmiany stężeń siarki siarczanowej w wodach odpływających ze zlewni badawczych są niedostrzegalne lub nieistotne statystycznie (Święty Krzyż, Szymbark, Wigry) (ryc. 41, 42, 43).



Ryc. 41. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w odpływie ze zlewni reprezentatywnej w Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż w latach hydrologicznych 1998-2011

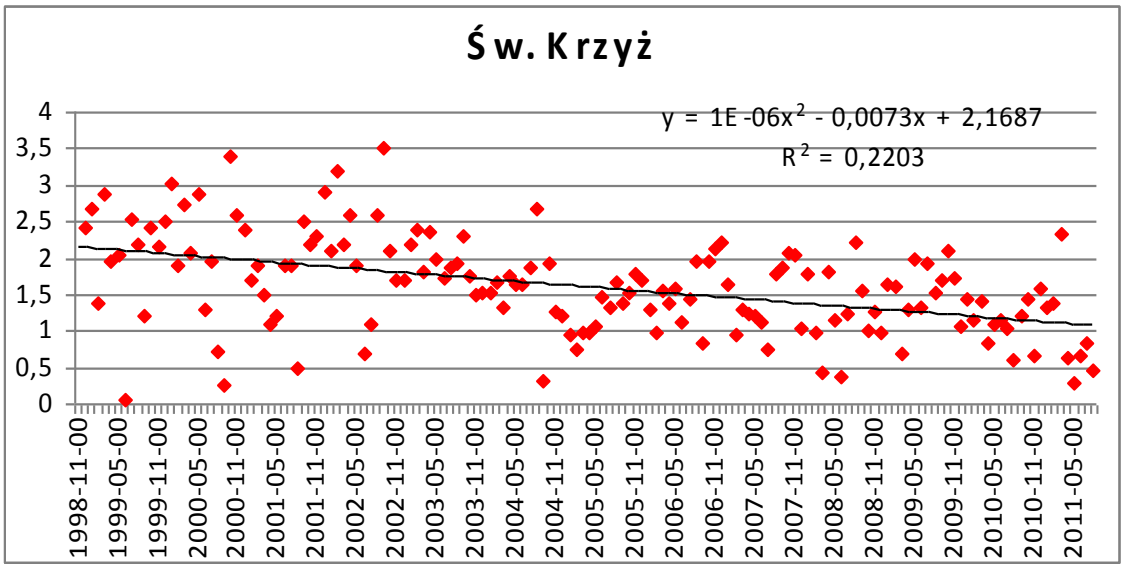


Ryc. 42. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w Bystrzance w Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż w latach hydrologicznych 1995-2011

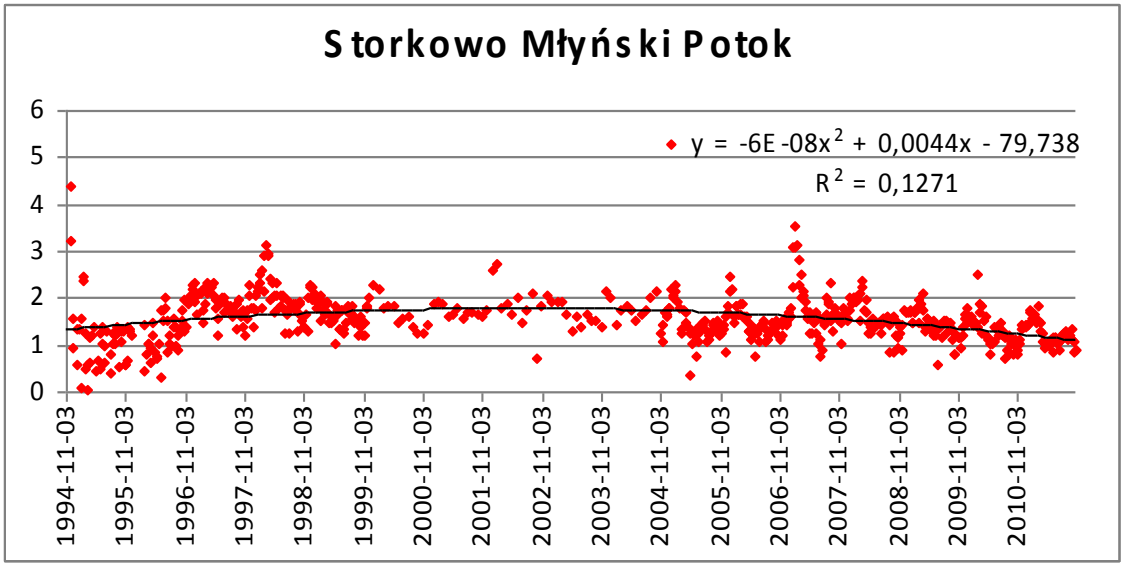


Ryc. 43. Zmiany stężenia siarki siarczanowej [mg dm^{-3}] w Czarnej Hańczy w Stacji Bazowej ZMŚP Wigry w latach hydrologicznych 1995-2011

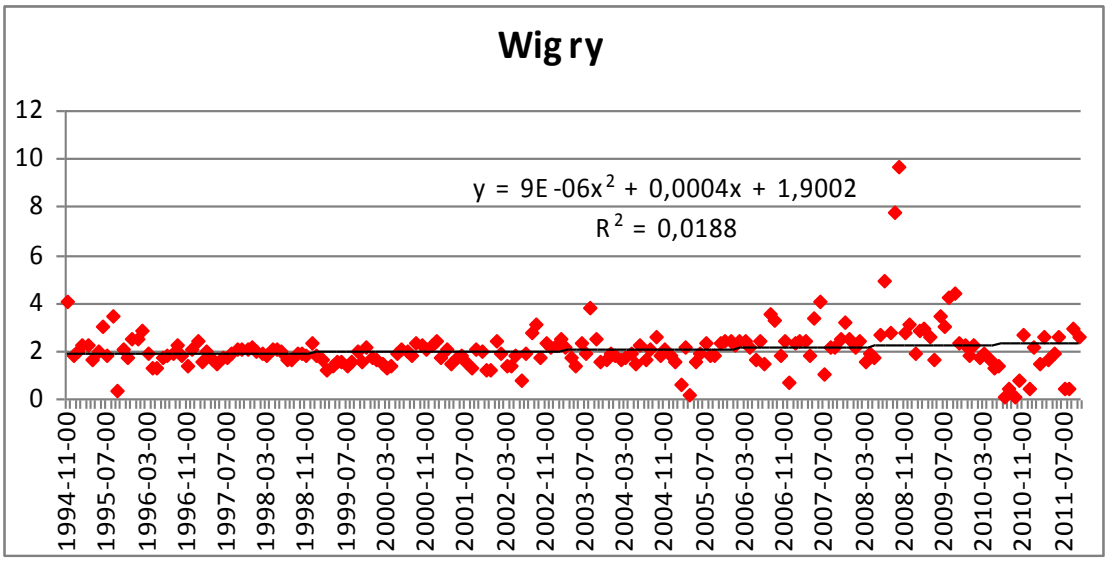
W przypadku związków azotu ich odprowadzanie ze zlewni w wodach powierzchniowych nie podlega już tak wyraźnym zmianom czasowym jak w przypadku siarki. Głównym powodem jest zatrzymywanie znacznej części związków azotowych przez roślinność. Niewielkie spadki stężeń azotu azotanowego obserwowano na przestrzeni wielolecia w Stacjach Bazowych Święty Krzyż oraz w Storkowie w zlewni Młyńskiego Potoku (ryc. 44, 45). W większości Stacji stężenia azotu azotanowego w wieloleciu są stałe (np. Wigry, ryc. 46) lub mają nieznaczne tendencje wzrostowe (np. Koniczynka, ryc. 47). Podkreślić należy zbliżony poziom stężeń azotu azotanowego w wodach powierzchniowych Stacji Bazowych: w granicach 1-2 mg dm^{-3}. Na tle innych Stacji Bazowych niekorzystnie pod tym względem wyróżnia się zlewnia Strugi Toruńskiej w Koniczynce, gdzie stężenia są o ponad 100% wyższe (okresowo jeszcze większe), co uwarunkowane jest intensywnym rolnictwem w zlewni.



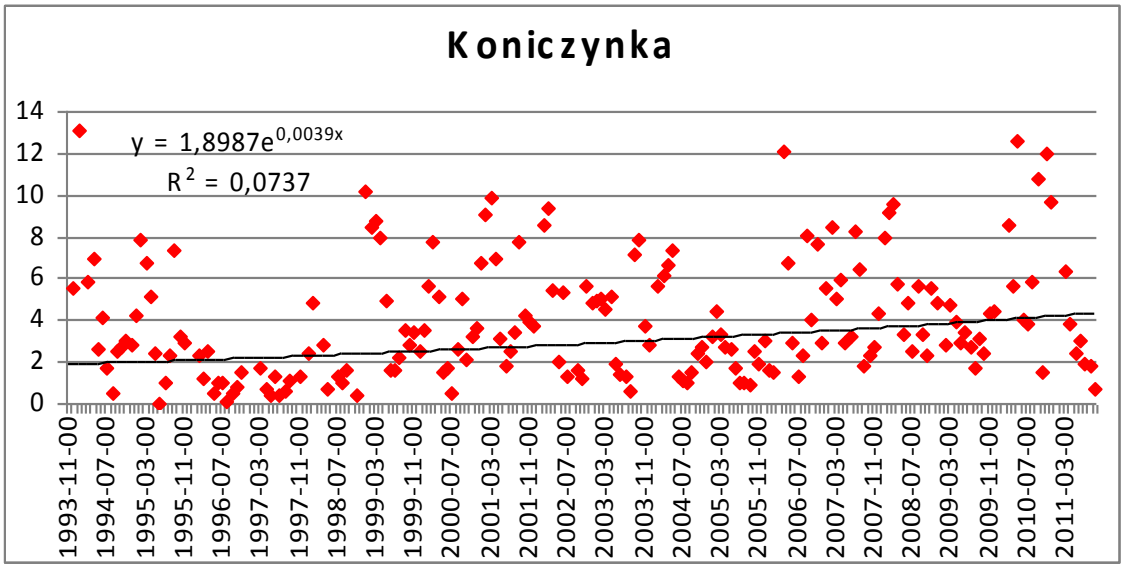
Ryc. 44. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] w odpływie ze zlewni monitorowanej w Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż w latach hydrologicznych 1999-2011



Ryc. 45. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] w odpływie ze zlewni Młyńskiego Potoku w Stacji Bazowej ZMŚP Storkowo w latach hydrologicznych 1995-2011



Ryc. 46. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] w odpływie ze zlewni Czarnej Hańczy w Stacji Bazowej ZMŚP Wigry w latach hydrologicznych 1995-2011



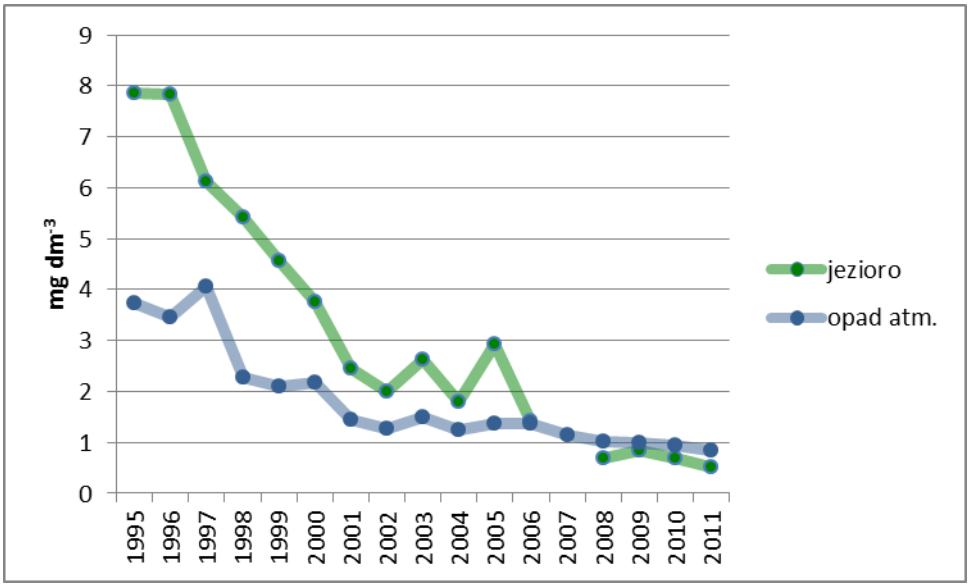
Ryc. 47. Zmiany stężenia azotu azotanowego [mg dm^{-3}] w odpływie ze zlewni Strugi Toruńskiej w Stacji Bazowej ZMŚP Koniczynka w latach hydrologicznych 1994-2011

Pozytywne zmiany chemizmu opadów atmosferycznych, a zwłaszcza zmniejszenie ich zakwaszenia i obciążenia nutrientami, mają szczególne znaczenie dla funkcjonowania zbiorników wodnych. W latach 80. i 90. XX w. kwaśne deszcze występujące w całej Europie stanowiły zagrożenie dla niektórych jezior. Szczególnie narażone były jeziora o dużym udziale zasilania opadowego w geoekosystemach pozbawionych właściwości buforujących (np. jeziora skandynawskie położone na

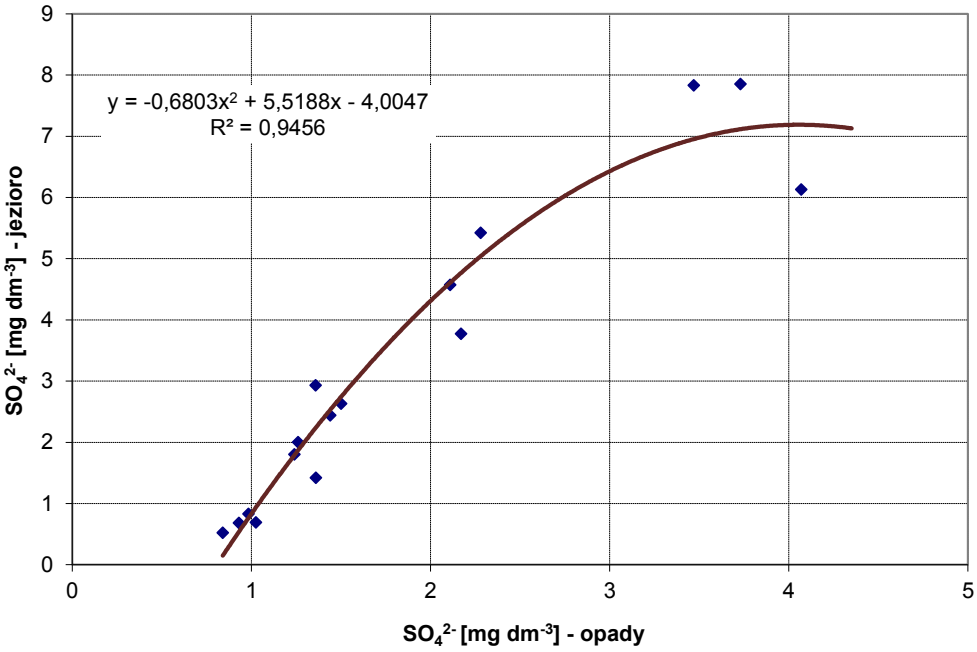
granitowym podłożu). W zlewni górnej Parsęty funkcjonuje wiele bezodpływowych, małych zbiorników wodnych, których wody wykazują niską mineralizację i są głównie zasilane opadowo. Największym z nich jest jezioro Czarne (o powierzchni 3,5 ha) spełniające kryteria jeziora o charakterze dystroficznym. Niewielkie właściwości buforujące zlewni jeziora Czarnego związane z piaszczystą, ubogą w rozpuszczalne składniki mineralne litologią utworów powierzchniowych oraz wypełnienie dna misy jeziornej słabo przepuszczalnymi drobnymi osadami (mineralnymi i organogenicznymi), które silnie ograniczają zasilanie z poziomu wód podziemnych sprawiają, że jezioro Czarne jest szczególnie podatne na zmiany pod wpływem opadów atmosferycznych. Wody jeziora Czarnego są objęte monitoringiem ZMŚP od roku 1995. Według szacunków Szpikowskiej (2011), opady atmosferyczne o wartościach pH charakterystycznych dla połowy lat 90-tych w zlewni górnej Parsęty (pH = 4,5) doprowadziłyby do wyczerpania zasadowości wód jeziora Czarnego w ciągu 2 dekad. Obecnie zakwaszenie opadów atmosferycznych klasyfikowane jako „normalne” lub „lekko obniżone” (w roku 2010 pH = 5,2, w roku 2011 pH = 4,95) nie powinno wyczerpać zasadowości wód jeziornych przez następnych 70-80 lat.

Wpływ jakości opadów atmosferycznych na chemizm jeziora Czarnego obrazuje współwystępowanie spadkowego trendu stężeń siarczanów w wodach opadowych i jeziornych (ryc. 48, 49). Odpowiada to ogólnemu trendowi redukcji stężeń siarczanów w opadach, który obserwuje się w Europie (Armbruster, Feger 2004) i Azji (Ishikawa i inni 1998). Efekty malejącej atmosferycznej dostawy siarczanów są już widoczne w postaci zmian chemizmu np. jezior tatrzańskich (Rzychoń, Worsztynowicz 2005).

Monitoring takich zbiorników wodnych (zasilanych opadowo) dostarcza szeregu kompleksowych informacji o zachodzących przemianach jakości środowiska geograficznego. Ten typ zbiorników wodnych występuje powszechnie na obszarze Polski młodoglacjalnej i celowe byłoby włączenie takich geoekosystemów do monitoringu środowiska w innych Stacjach Bazowych Polski północnej.



Ryc. 48. Stężenia jonów siarczanowych w wodach opadowych i wodach jeziora Czarnego zlewnia Parsęty) w latach hydrologicznych 1995-2011



Ryc. 49. Relacje stężeń jonów siarczanowych w wodach opadowych i w wodach jeziora Czarnego (zlewnia Parsęty)w latach hydrologicznych 1995-2011

8.4. Wskaźniki eutrofizacji wód powierzchniowych

Jony azotanowe, amonowe, fosforanowe oraz w znacznej mierze siarczany należą do tych elementów składu chemicznego, których obecność w odpływie rzecznym jest efektem działalności człowieka. Są to jony, które charakteryzują się największą zmiennością stężeń w skali roku hydrologicznego. Nadmierne stężenia jonów azotanowych, amonowych oraz fosforowych w wodzie stają się zanieczyszczeniem, powodującym wzrost niepożądanych organizmów żywych. Nadmierna zdolność produkcyjna, wywołana dużą zawartością substancji pokarmowych prowadzi do eutrofizacji zbiorników wodnych. Powstające w jej wyniku glony i makrofity wodne, zużywające w procesach życiowych tlen, ograniczają rozwój i szybkość wzrostu wyższych form życia, zwłaszcza ryb. Eutrofizacja wód, jako jedno z najważniejszych zagrożeń jakości środowiska, jest jednym z głównych zadań badawczych zintegrowanego monitoringu.

Problemy eutrofizacji wód dotyczą głównie zbiorników jeziornych ze względu na „zamknięty" obieg materii. Dostawa składników pokarmowych z wodami rzecznymi do Morza Bałtyckiego sprawia, że problemy eutrofizacji mogą dotknąć ten akwen wyizolowany od otwartych wód oceanicznych.

Należy zaznaczyć, że eutrofizacja jest naturalnym procesem przyrodniczym. W przypadku np. oligotroficznych jezior polodowcowych, których zlewnie pozostają w stanie zbliżonym do naturalnego, oznacza proces stopniowego, rozciągniętego na setki i tysiące lat użyźniania i wypełniania toni jeziornej materiałem autochtonicznym i allochtonicznym. Końcowym etapem takiej naturalnej eutrofizacji jest przekształcanie jezior w bagna (torfowiska) i stopniowa zamiana na ekosystemy lądowe.

Eutrofizacja przyspieszona (antropogeniczna) zachodzi w zlewniach przekształconych (odlesionych, wykorzystywanych rolniczo, zabudowanych). Natężenie przebiegu eutrofizacji antropogenicznej jest wynikiem nie tylko zwiększonej dostawy zanieczyszczeń (ścieków bytowo-gospodarczych, przemysłowych, spływów substancji nawozowych z pól) lecz również efektem przyspieszonego krążenia wody w przekształconych geoekosystemach.

Pierwiastkami budulcowymi dla glonów i makrofitów wodnych jest węgiel, azot i fosfor. Najczęściej w wodach występuje nadmiar węgla i azotu, a niedobór fosforu (Rynkiewicz 2007)), co w znacznym stopniu ogranicza niepożądaną produkcję biomasy. Bardzo szkodliwa jest zatem dla jakości wód dostawa związków fosforu do środowiska wodnego.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 roku dotyczące kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenia związkami azotu podaje wartości graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji różnych typów wód. Na tej podstawie można wskazać, które zlewnie kontrolowane w ramach ZMŚP spełniają wyznaczone kryteria (tab. 10). Przekroczenie wskaźnika fosforu ogólnego (0,25 mg dm^{-3}) występowało w roku 2010 w wodach Kanału Olszowieckiego w Kampinosie. W roku 2011 w żadnej z badanych zlewni nie stwierdzono przekroczenia zawartości w wodach rzecznych fosforu ogólnego (z przyczyn technicznych nie wykonano oznaczenia fosforu ogólnego dla Białej Góry i Świętego Krzyża).

Tab. 10. Wskaźniki eutrofizacji wód rzecznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w roku 2011

Stacja	P_{og} [mg dm^{-3}]	$N\text{-}NO_3^-$ [mg dm^{-3}]	NO_3^- [mg dm^{-3}]
Biała Góra	---	0,29	1,26
Storkowo - Młyński Potok	0,05	1,35	5,96
Storkowo - Parsęta	0,08	1,60	7,07
Puszcza Borecka	0,10	0,12	0,55
Wigry - Sobolewo	0,10	1,63	7,23
Wigry - Ujście	0,12	1,87	8,27
Koniczynka -Lipowiec	0,11	2,15	9,34
Koniczynka - Koniczynka	0,19	4,63	21,12
Kampinos	0,01	0,08	0,35
Święty Krzyż – C5	---	0,85	3,69
Święty Krzyż – C6	---	0,85	3,69
Szymbark	0,02	1,15	5,10

wody rzeczne nie zeutrofizowane

wody rzeczne zeutrofizowane

W przypadku azotu azotanowego stężenia dopuszczalne (2,2 mg dm^{-3}) są przekroczone jedynie w Strudze Toruńskiej, w profilu Koniczynka zamykającym zlewnię badawczą. W roku poprzednim stężenia te były również przekroczone na wejściu do zlewni – w Lipowcu. Obecny stan oznacza, że nastąpiła pewna poprawa, jednak nadal zlewni Strugi Toruńskiej, jako obszar intensywnie użytkowany rolniczo i przez to nawożony, jest obszarowym źródłem dostawy związków azotu do wód

powierzchniowych. W ostatnich latach w raportach ze Stacji w Koniczynce wskazywano na widoczny trend do podwyższanie się stężeń biogenów w wodach rzecznych Strugi Toruńskiej. Należy odnotować, iż pod względem zawartości związków azotu uległa poprawie, w porównaniu z rokiem 2010, sytuacja w wodach Bystrzanki w Szymbarku.

Podobnie, jeśli chodzi o dopuszczalną granicę stężeń jonów azotanowych (10 mg dm^{-3}), spotykamy się z przekroczeniem norm w profilu zamykającym zlewnię Strugi Toruńskiej w Koniczynce.

W przypadku wód jeziornych Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 za wskaźnik poziomu eutrofizacji uznaje stężenia fosforu ogólnego. Ze zbiorników jeziornych monitorowanych w ramach ZMŚP dopuszczalny poziom fosforu (poniżej 0,1 mg dm^{-3}) występuje jedynie w jeziorze Czarnym w zlewni górnej Parsęty (tab. 11). Pozostałe dwa jeziora monitorowane przez Stacje w Białej Górze i Puszczy Boreckiej mają pod względem stężeń fosforu ogólnego w wodach przekroczone wskaźniki eutrofizacji.

Tab. 11. Wskaźniki eutrofizacji wód jeziornych w Stacjach Bazowych ZMŚP w roku 2010

Stacja	P_{og} [mg dm^{-3}]	$N\text{-}NO_3^-$ [mg dm^{-3}]	NO_3^- [mg dm^{-3}]
Biała Góra	0,24	0,26	1,15
Storkowo	0,02	0,01	0,03
Puszcza Borecka	0,30	0,50	0,88

	wody jeziorne nie zeutrofizowane
	wody jeziorne zeutrofizowane

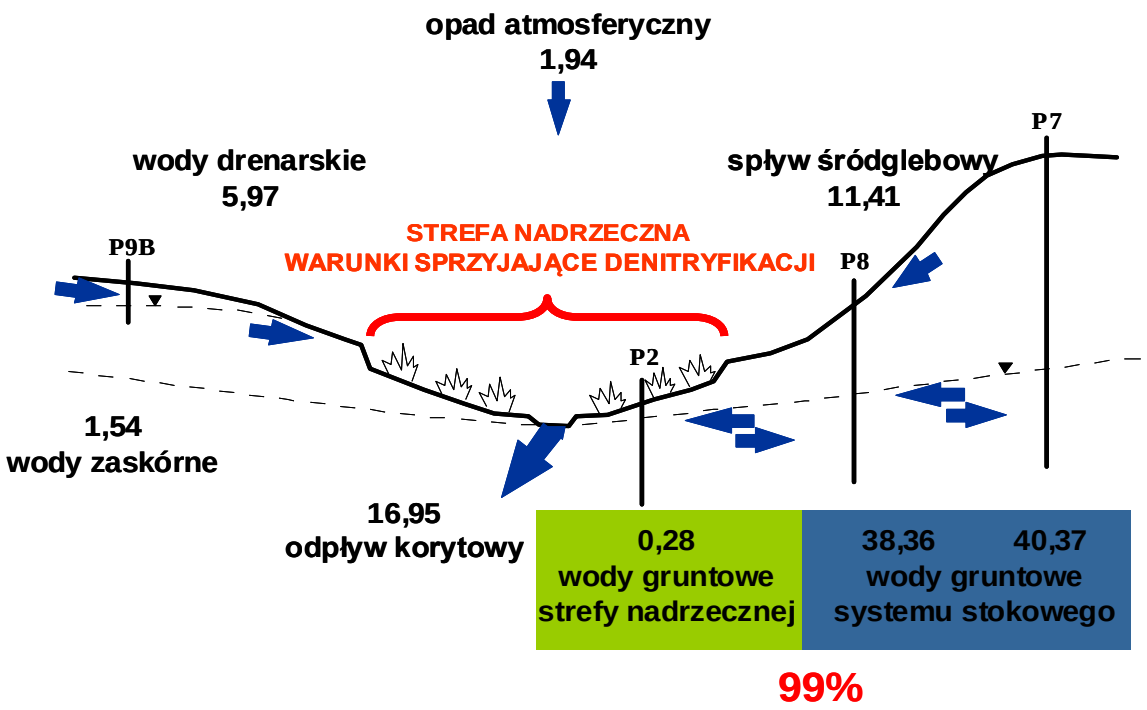
Spośród trzech jezior badanych w ramach monitoringu w Stacjach Bazowych tylko jezioro Czarne ma wody oligotroficzne pod względem ilości azotu i fosforu, natomiast dystroficzne z uwagi na małą ilość tleni rozpuszczonego. Mała ilość związków rozpuszczonych w wodach jest konsekwencją opadowego zasilania tego zbiornika, toteż jakości jego wód nie można w bezpośredni sposób porównywać z wodami jezior o większym udziale zasilania podziemnego i powierzchniowego (np. Gardno i Łękuk).

W przypadku zlewni rzecznych o niewielkiej presji antropogenicznej (np. odpływu z jeziora Łękuk w Puszczy Boreckiej) rozkład stężeń azotanów oraz

fosforanów uwarunkowany jest dynamiką procesów biologicznych: największe stężenia obserwowane są w miesiącach zimowych, natomiast w okresie letnim biogeny te są wykorzystywane przez roślinność w procesie biosyntezy. W zlewni Czarnej Hańczy ten naturalny rozkład stężeń azotanów w odpływie rzecznym zostaje zakłócony przez dopływ ścieków z oczyszczalni oraz w wyniku okresowego opróżniania sztucznego zbiornika w Suwałkach (Krzysztofiak i in. 2011). Obecność biogenów w spływie jonowym jest skorelowana czasowo z okresami występowania wysokich stanów w korytach rzecznych. Wówczas właśnie do odprowadzanego ładunku włączane są intensywnie związki biogenne, których pochodzenie związane jest z prowadzoną na obszarze zlewni działalnością rolniczą i zanieczyszczeniami bytowymi.

O wielkości ładunku biogenów w transporcie fluwialnym decydują również procesy akumulacji tych związków w biomasie oraz procesy biogeochemiczne zachodzące w strefie przykorytowej. Przykładem zmian stężeń jonów azotanowych w wodach krążących w zlewni są wyniki uzyskane przez Szpikowską w zlewni Chwalimskiego Potoku w dorzeczu górnej Parsęty (ryc. 50). Ogólna stwierdzona tendencja wskazuje, że coraz mniej jonów azotanowych dostaje się do obiegu z wodami opadowymi (ryc. 24). Płytko krążące wody zaskórne oraz wody drenarskie mają również niskie stężenia jonów azotanowych. Jednak w wodach podziemnych na stokach (na ryc. 37 stanowiska oznaczone P7 i P8) stężenia jonów azotanowych szybko wzrastają. Jest to w przypadku zlewni Chwalimskiego Potoku spowodowane:

- dostawą ścieków bytowych z wioski Nowy Chwalim do wód podziemnych (to z kolei jest konsekwencją założenia wodociągów bez skanalizowania i odprowadzenia ścieków do oczyszczalni),
- rolniczym wykorzystywaniem ziemi połączonym ze stosowaniem nawozów azotowych (usuwanie azotu pochodzenia nawozowego z wód podziemnych może być procesem rozciągniętym na wiele lat, nawet wówczas, gdy zostanie radykalnie ograniczona dostawa z nawożeniem).



Ryc. 50. Stężenia NO_3^- (w mg dm^{-3}) na poszczególnych etapach obiegu wody w przekroju poprzecznym zlewni Chwalimskiego Potoku w zlewni górnej Parsęty (wg Szpikowskiej)

W tej sytuacji niezmiernie istotna jest rola strefy nadrzecznej (na ryc. 50 stanowisko P2), gdzie w warunkach beztlenowych w cyklu biogeochemicznym dochodzi do amonifikacji (mineralizacji polegającej na przekształceniu azotu z postaci organicznej w postać nieorganiczną) oraz nitryfikacji (utlenianiu obecnych w wodzie lub glebie jonów amonowych). W zlewni Chwalimskiego Potoku skuteczność strefy nadrzecznej w usuwaniu azotu docierającego z wodą podziemną spływającą z systemu stokowego wynosi aż 99%. Ten wymowny przykład świadczy o tym, że ograniczenie eutrofizacji winno prowadzić poprzez zachowanie, a wręcz odbudowywanie podmokłych stref nadrzecznych, szczególnie ważnych na obszarach użytkowanych rolniczo. Prace melioracyjne połączone z pogłębianiem i prostowaniem koryt cieków oraz osuszaniem stref przykorytowych skutkują wielokrotnie zwiększoną dostawą jonów azotanowych do wód powierzchniowych.

Wody wszystkich rzek badanych w Stacjach Bazowych w roku 2011, podobnie jak i latach poprzednich, pod względem jakości wód powierzchniowych (wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z 10 marca 2003) dla większości badanych składników mieszczą się w klasie I (najczęściej dla temperatury, przewodności, odczynu, zawiesiny, azotu amonowego i azotu azotanowego, siarczanów, chlorków, wapnia i magnezu. Dla części Stacji w II klasie jakości najczęściej mieszczą się

stężenia takich składników jak fosfor ogólny, BZT_5, jony azotanowe (zwłaszcza Stacja w Koniczynce), natomiast do klas III, IV i V wody rzeczne spadają najczęściej w zakresie ilości tlenu rozpuszczonego (Storkowo) i niekiedy jonów amonowych (Szymbark).

9. Stan geoekosystemów na podstawie bioindykacji

Bioindykacja jest jedną z podstawowych metod oceny stanu środowiska przyrodniczego na podstawie reakcji wybranych elementów biologicznych geoekosystemów, czułych na zmiany bilansu energii, 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, a poprzez to pośrednia kontrola i ocena zmian zachodzących w obrębie podstawowych komponentów abiotycznych geoekosystemów.

W roku hydrologicznym 2011 programy biotyczne były realizowane na wszystkich Stacjach Bazowych.

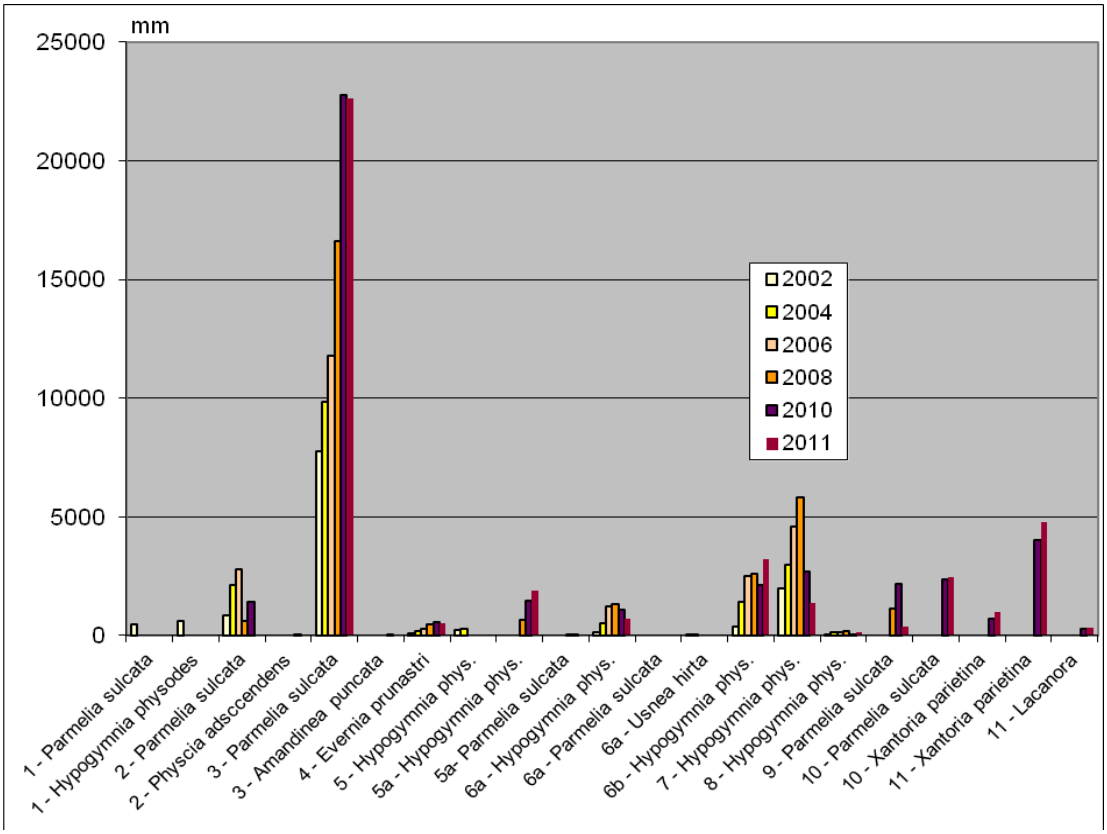
Jednym z programów ZMŚP, o najdłuższej obecnie serii pomiarowej, w którym wykorzystuje się bioindykatory jako wskaźniki zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym, są epifity nadrzewne. Porosty należą do powszechnie stosowanych wskaźników zmian: zanieczyszczenia powietrza, warunków siedliskowych oraz 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 biowskaźników. 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 skorupiastej. Ponadto ze względu na swoją specyficzną budowę porosty krzaczkowate są dużo bardziej niż inne formy podatne na uszkodzenia mechaniczne.

Od początku badań monitoringu porostów powierzchnia plech gatunków krzaczkowatych spada we wszystkich Stacjach Bazowych, w których ten monitoring jest realizowany. Gatunki porostów krzaczkowatych, które ustąpiły zupełnie, bądź z poszczególnych stanowisk badawczych, to: mąkla tarniowa (*Evernia prunastri*)

(Puszcza Borecka, Kampinos), odnożyca mączysta (*Ramalina farinaca*) (Puszcza Borecka, Wigry), mąklik otrębiasty (*Pseudevernia furfuracea)* (Wigry, Kampinos, Storkowo), brodaczka kępkowa (*Usnea hirta)* (Wigry), włostka brązowa (Wigry). Należy zaznaczyć, że wszystkie te gatunki są poddane ochronie gatunkowej, a aż cztery z nich (oprócz mąkli tarniowej) ochronie ścisłej. Spadek powierzchni plech porostów krzaczkowatych, a również i listkowatych oraz wzrost plech porostów skorupiastych na przestrzeni lat 2001-2011 stwierdzono na pwoerzchniach badawczych w Storkowie.

W Koniczynce od roku 2002 aż po rok 2011 obserwuje się generalnie wzrost powierzchni plech porostów, jednak w bardzo różnym tempie, w zależności od lokalizacji stanowisk badawczych. Najszybszy wzrost dotyczy porostu listkowatego tarczownica bruzdkowana *(Parmelia sulcata)*. Zdaniem autorów raportu (Kejna i inni 2011) wskazuje to na dobrą korelację ze zmniejszającym się zanieczyszczeniem powietrza, np. stężenie SO_2 w powietrzu zmniejszyło się z 7,4 $\mu g\ m^{-3}$ w 2002 r. do 1,5 $\mu g\ m^{-3}$ w 2006 r., 5,9 $\mu g\ m^{-3}$ w 2008 r. oraz 1,7 $\mu g\ m^{-3}$ w roku 2011 (ryc. 51).



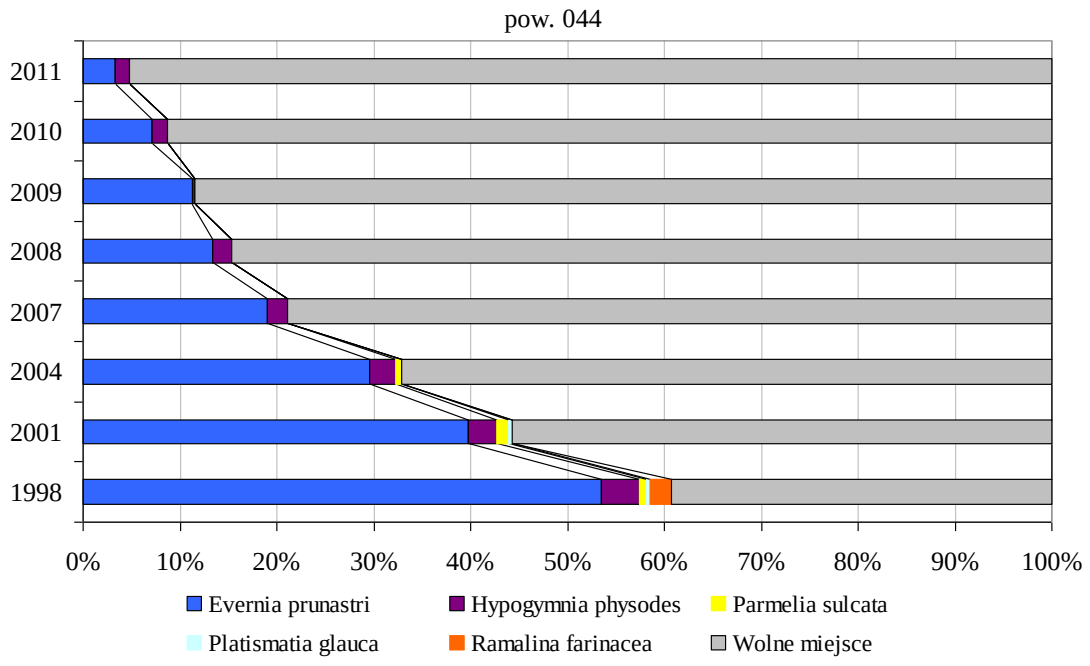
Ryc. 51. Zmiany powierzchnia porostów na powierzchniach testowych na obszarze zlewni Strugi Toruńskiej w latach 2002-2011. Źródło: Kejna i inni 2012

Wzrost powierzchni plech gatunków najbardziej odpornych na zanieczyszczenia powietrza (zwłaszcza skorupiastych) kosztem gatunków krzaczkowatych przy rejestrowanym obniżeniu i stabilizacji dwutlenku siarki w powietrzu może wskazywać na pogorszenie warunków siedliskowych lub wzrostu znaczenia lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza. Opisywane zjawisko wzrostu plech porostów skorupiastych i częściowo listkowatych zachodziło w roku 2010 na wielu stanowiskach w Stacjach Bazowych.

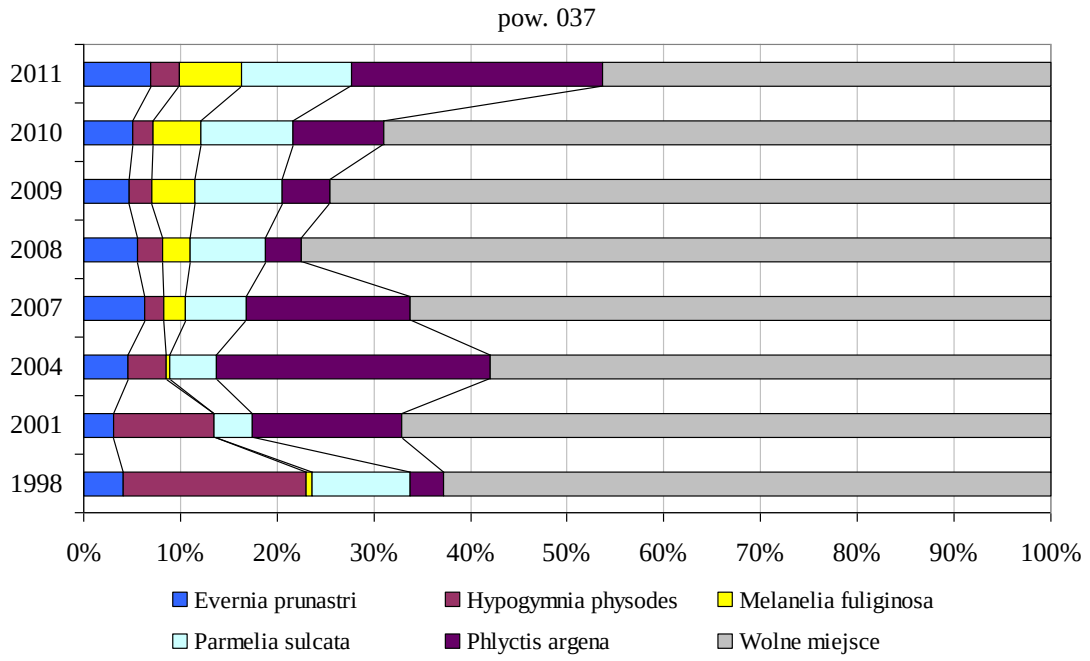
W zlewni jeziora Łękuk w Puszczy Boreckiej zaobserwowano spadek powierzchni plech wrażliwych porostów krzaczkowatych i dalszą ekspansję gatunków skorupiastych: otwornicy gorzkiej (*Pertusaria amara)*, tarczownicy bruzdkowanej (*Parmelia sulcata*) oraz rozsypka srebrzystego (*Phlyctis argena*). Zarówno rozsypek srebrzysty oraz otwornica gorzka reprezentują porosty o plechach skorupiastych, które są najbardziej odporne na zanieczyszczenie powietrza oraz uszkodzenia mechaniczne (Śnieżek i inni 2011). W raporcie z tej Stacji Bazowej stwierdzono, iż na obecnym etapie badań trudno jest wskazać, który z czynników środowiskowych jest odpowiedzialny za spadek powierzchni plech porostów krzaczkowatych. Ich wycofywanie się świadczy o wzroście presji antropogenicznej, lecz trudno ustalić jednoznacznie czy jest to związane ze wzrostem zanieczyszczenia powietrza, czy też z uszkodzeniami mechanicznymi.

W Stacji Bazowej Święty Krzyż zarejestrowano ubytek powierzchni plech porostów na czterech spośród pięciu stanowisk pomiarowych (Jóźwiak i inni 2011).

W Stacji Bazowej Wigry stan monitorowanych powierzchni porostów nadrzewnych był bardzo zróżnicowany dla poszczególnych stanowisk (ryc. 52, 53). Z 12 badanych powierzchni nadal na pięciu nie stwierdzono monitorowanych gatunków porostów - ustąpiły one z tych powierzchni już w 2008 roku. Na pozostałych powierzchniach w 3 przypadkach zarejestrowano wyłącznie wzrost ogólnej powierzchni plech wszystkich monitorowanych gatunków, a w pozostałych przypadkach część gatunków zwiększyła powierzchnię plech, a część zmniejszyła. Gatunki porostów, które ustąpiły z monitorowanych powierzchni należą do porostów listkowatych (*Hypogymnia physodes*) oraz krzaczkowatych (*Usnea hirta* i *Pseudevernia furfuracea*).



Ryc. 52. Zmiany powierzchni plech badanych porostów na powierzchni nr 44 w zlewni Czarnej Hańczy w Wigrach – przykład systematycznego zmniejszania się plech porostów. Źródło: Krzysztofiak i inni 2012



Ryc. 53. Zmiany powierzchni plech badanych porostów na powierzchni nr 37 w zlewni Czarnej Hańczy w Wigrach – przykład odbudowy plech porostów po spadku z lat 2008-2009. Źródło: Krzysztofiak i inni 2012

W Kampinosie w roku 2011 nastąpiły negatywne zmiany w rozmiarze i zdrowotności plech monitorowanych porostów. Autorzy raportu jednoznacznie stwierdzają, że był to kolejny po 2010 zły rok dla zdrowotności plech porostów, najgorszy odkąd prowadzony jest program monitoringu od roku 2002 (Olszewski i inni 2011).

W Stacji Bazowej w Storkowie wciągu 11 lat badań porostów w zlewni górnej Parsęty nastąpiło ograniczenie stanowisk badawczych zarówno z przyczyn antropogenicznych - wycięto dwa drzewa jak i naturalnych – jedna powierzchnie zarosła mszakami, a z tego samego powodu jedna jest zagrożona. Dodatkowym zagrożeniem dla kolejnych dwóch powierzchni jest pękanie 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 submonatana*). 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.

Cześć stwierdzanych spadków powierzchni plech porostów (dotyczy to wszystkich Stacji Bazowych) może wynikać z naturalnych procesów wzrostu drzew, pękania i odpadania kory wraz z plechami porostów, uszkodzeń pnia drzewa przez zwierzęta.

Opisywany stan badań i uzyskiwane wyniki potwierdzają, że porosty są wrażliwe na różnorodne bodźce środowiskowe. 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. Zdaniem autora tej syntezy stawia to przed specjalistami zajmującymi się badaniami porostów duże wyzwania, aby np. na drodze badań eksperymentalnych ustalić hierarchię bodźców środowiskowych oddziaływujących na florę porostów. Przy braku jednoznacznych standardów wskaźnikowych nawet długie serie pomiarowe będą bardzo trudne do interpretacji i, w rezultacie, mało przydatne do monitoringu środowiska przyrodniczego.

Podstawowym 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 *Carabidea* na Stacjach Bazowych rozpoczęto w roku 2004 (w Białej Górze od roku 2009). Monitoring fauny epigeicznej wraz ze wskazaniem ich bioindykacyjnych predyspozycji jest przedmiotem oddzielnego sprawozdania autorstwa specjalisty w programie O1 prof. dr hab. Stanisława Huruka. Badania wskazują na dobry stan środowiska geoekosystemów. Zróżnicowanie pomiędzy Stacjami w zakresie np. wskaźnika łowności jest uwarunkowane naturalnym zróżnicowaniem ekostemów leśnych. 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.

Program monitoringu uszkodzenia drzew i drzewostanów prowadzony był w roku 2009 przez Instytut Badawczy Leśnictwa na powierzchniach leśnych położonych w pobliżu zlewni rzecznych Stacji Bazowych. W przypadku stacji Wigry prowadzono również badania w ramach ZMŚP w dwóch siedliskach: borze bagiennym oraz ubogim grądzie. Od roku 2010 program jest realizowany przez Stacje Bazowe na własnych powierzchniach testowych. Zbyt krótka seria pomiarowa ogranicza możliwości interpretacyjne. Jednak generalnie uzyskane wyniki wskazują, że w przypadku wszystkich Stacji średnia defoliacja kształtuje się poniżej wartości 25%, która jest wielkością graniczną pomiędzy klasą braku defoliacji i lekką defoliacją. Oznacza to dobry stan drzewostanów. Odbarwienie koron z reguły mieści się w kasie „brak odbarwienia”.

10. Podsumowanie – kompleksowa ocena stanu geoekosystemów Polski w roku 2011 na tle lat 1994-2010

1. W roku hydrologicznym 2011 program ZMŚP realizowany był w ośmiu Stacjach Bazowych reprezentujących różne strefy krajobrazowe kraju (ryc. 1, tab. 1), poddane w różnym stopniu przemianom naturalnym i presjom antropogenicznym. Sześć spośród zlewni badawczych Stacji ZMŚP (poza Koniczynką i Szymbarkiem) leży w granicach obszarów specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000 (ryc. 2-7). Wyniki monitoringu, wskazujące na dobre i poprawiające się wskaźniki stanu środowiska, są ważne również dla oceny stanu siedlisk, ewentualnego stwierdzenia pojawiających się zagrożeń, a przede wszystkim są przydatne do podstawowych celów stawianych przed programem Natura 2000, czyli do ochrony dziedzictwa przyrodniczego Polski i prowadzenia zrównoważonej gospodarki.
2. Funkcjonowanie geoekosystemów uwarunkowane było przede wszystkim dopływem energii słonecznej. Bilans energetyczny w skali lokalnej, regionalnej, ale również globalnej miał decydujące znaczenia dla dostawy i kształtowania obiegu wody w zlewniach badawczych Stacji Bazowych. Rok 2011, podobnie jak poprzedni, był okresem raczej korzystnym dla dostawy wody do środowiska. Pod względem ilości opadów był rokiem od suchego (Storkowo), poprzez normalny (Puszcza Borecka, Biała Góra, Wigry, Koniczynka, Szymbark), do wilgotnego (Kampinos, Święty Krzyż (ryc. 9, 11). Te na ogół korzystne warunki opadowe wystąpiły po przeciętnych lub większych od średnich opadach w większości Stacji w latach 2007-2010. W takiej sytuacji można uznać, iż nadal przebiegała odbudowy retencji wodnej zachwianej niedoborem opadów w latach 2002-2006. Jednak zachwianie trendu wzrostowego *współczynnika tendencji opadowych* może wskazywać, iż w kolejnych latach może dojść do pogorszenia się stanu zasobów wodnych zlewni (ryc. 12).
3. Do podstawowych czynników, które decydują o obiegu materii w monitorowanych geoekosystemach należy zaliczyć wielkość i jakość depozycji atmosferycznej. Powietrze jest tym elementem środowiska przyrodniczego, który podlega silnej antropopresji. Zawarte w nim związki chemiczne wskutek opadania i osadzania są wchłaniane i akumulowane przez pozostałe

komponenty środowiska. W roku 2010 w części Stacji Bazowych notowano wzrost średniego rocznego stężenia zanieczyszczeń powietrza dwutlenkiem azotu, dwutlenkiem siarki i dwutlenkiem węgla. W roku 2011 stężenia zanieczyszczeń były zbliżone lub nieco niższe. Nie występowały przy tym przekroczenia poziomów stężeń docelowych.

4. Skład chemiczny opadów atmosferycznych kształtowany jest przez wiele czynników, do których należy zaliczyć obok zanieczyszczeń obecnych w atmosferze także warunki meteorologiczne, w tym przede wszystkim typ cyrkulacji powietrza, wysokość opadów atmosferycznych, długość i czas występowania okresów bezdeszczowych. W roku hydrologicznym 2011, podobnie jak w roku poprzednim, największą wartość depozycji odnotowano na terenie stacji Kampinos, jako efekt wysokich stężeń jonów w opadach atmosferycznych i w pewnym stopniu również ich sumy rocznej. Nieco mniejsze ładunki jonów odnotowano w przypadku dwóch stacji położonych na terenach górskich (Święty Krzyż i Szymbark). Dla tych Stacji wysoką wartość depozycji atmosferycznej należy łączyć zarówno z wysokimi sumami opadów atmosferycznych jak i podwyższonymi stężeniami jonów w opadach. We wszystkich Stacjach do podwyższenia się ładunku depozycji atmosferycznej przyczynił się zwłaszcza okres wysokich opadów w lipcu.
5. Bardzo korzystne dla środowiska geograficznego jest to, że w przypadku badanych zlewni rzecznych Stacji Bazowych ZMŚP jony wodorowe charakteryzują się bilansem dodatnim. Są one neutralizowane przede wszystkim w glebie, stąd ich ładunek odprowadzany ze zlewni jest nieporównywalnie mniejszy niż wartość depozycji atmosferycznej. Mechanizm buforowania ładunków wodoru w pokrywie glebowej ogranicza zagrożenie zakwaszania wód podziemnych i powierzchniowych. Wyjątek stanowi stacja na Świętym Krzyżu, która charakteryzuje się ograniczonymi właściwościami buforowymi gleby ze względu na specyficzną budowę geologiczną.
6. W roku 2011 nadal w wyraźny sposób w zakwaszaniu opadów atmosferycznych zwiększa się udział tlenków azotu przy malejącej roli dwutlenku siarki. Tendencja ta została przedstawiona za pomocą *wskaźnika udziału czynników kwasogennych*, który dla takich Stacji Bazowych jak Storkowo, Puszcza Borecka i Szymbark zwiększa swoją wartość od połowy lat 90. XX w. (ryc. 27).

7. W roku 2011 wartości *wskaźnika pH opadów atmosferycznych* wzrosły w porównaniu z rokiem poprzednim. Oznacza to, że rosnący od kilku lat udział w opadach atmosferycznych deszczy o odczynie normalnym w stosunku do udziału opadów o odczynie znacznie obniżonym uległ pewnemu zachwianiu. O tym, czy przywrócona będzie tendencja z lat wcześniejszych zadecydują warunki roku 2012. Należy jednak ogólnie uznać, że od roku 2000 następuje ewidentna poprawa jakości wód opadowych (ryc. 20).
8. Monitoring opadów pod drzewostanami nadal wskazuje na zwiększenie ładunków jonów wniesionych do podłoża przez opady atmosferyczne po przejściu przez korony drzew w stosunku do ładunków na otwartej przestrzeni. Zwiększony dopływ zanieczyszczeń atmosferycznych z opadem do podłoża występuje szczególnie w ekosystemach leśnych położonych na obszarach górskich. Jest efektem dodatkowego dopływu zanieczyszczeń do podłoża związanym ze zjawiskiem wychwytywania kropel i zawartych w nich zanieczyszczeń w sytuacji, gdy korony drzew znajdują się powyżej podstawy chmur (Stacja Bazowa Święty Krzyż), co w konsekwencji przyczynia się do zwiększonego dopływu zanieczyszczeń do podłoża.
9. Na tle danych z wielolecia wyniki uzyskane w roku 2011 wskazują, że poziomy wód podziemnych w Stacjach Bazowych należały do przeciętnych lub wyższych od przeciętnych i, podobnie jak w ostatnich trzech latach, nie wystąpił problem zagrożenia suszą gruntową. W Koniczynce np. stwierdzono odwrócenie od roku 2010 wcześniejszego trendu do spadku poziomu wody podziemnej. Stacja w Kampinosie zwraca uwagę na rolę żeremi boborowych w podnoszeniu lustra wody powierzchniowej i podziemnej, co niekiedy może mieć niekiedy negatywny wpływ na określone zbiorowiska roślinne. Stężenia większości badanych związków chemicznych w wodach podziemnych w roku 2011 były bardzo bliskie wartościom średnim z wielolecia, co świadczy o stabilnym składzie chemicznym wód podziemnych w badanych geoekosystemach.
10. Jednym z realnych zagrożeń dla ekosystemów rzecznych badanych w Stacjach ZMŚP są zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego i bytowego. Dotyczy to zwłaszcza Stacji w Koniczynce, Wigrach i Szymbarku. Problem ten w innych Stacjach, np. w Storkowie od kilku lat jest redukowany w miarę porządkowania gospodarki wodno-ściekowej w dorzeczu Parsęty. Obecność

biogenów w spływie jonowym jest skorelowana czasowo z okresami występowania wysokich stanów w korytach rzecznych. Wówczas to do odprowadzanego ładunku włączane są intensywnie związki biogenne, których pochodzenie związane jest z prowadzoną na obszarze zlewni działalnością rolniczą i zanieczyszczeniami bytowymi. O wielkości ładunku biogenów w transporcie fluwialnym decydują również procesy akumulacji tych związków w biomasie oraz procesy biogeochemiczne zachodzące w strefie nadrzecznej. Eutrofizacja wód powierzchniowych, szczególnie ważna w sytuacji konieczności ograniczania dostawy biogenów do Morza Bałtyckiego, jest zjawiskiem występującym z różnym natężeniem w Polsce. Wyniki uzyskiwane w ramach ZMŚP świadczą o tym, że wody przwie wszystkich badanych rzek spełniają kryteria wyznaczone w rozporządzeniu o kryteriach wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenia związkami azotu dla różnych typów wód. Zagrożenia pojawiają się w przypadku intensywnie użytkowanej rolniczo zlewni Struga Toruńskiej. Natomiast w roku 2011 poprawił się stan wody w Bystrzance w Beskidzie Niskim, gdzie na jakość wód wpływa mocno gęsta sieć osadnicza. Problemem, na co wskazują np. badania ze zlewni górnej Parsęty, pozostają związki azotu w wodach podziemnych na obszarach rolniczych, które pozostały po okresie intensywnego nawożenia, a których usunięcie z geoekosystemu może być rozciągnięte na wiele lat.

11. Słabo zaznaczające się tendencje spadku stężeń związków azotu w wodach podziemnych i powierzchniowych mogą oznaczać, że potencjalnie stanowią one zagrożenie eutrofizacją wód w badanych geoekosystemach. Należy zatem dążyć, aby zachowywane były strefy nadrzeczne, gdzie zachodzi naturalny proces redukcji nutrientów w wyniku procesów biochemicznych.
12. Monitoring w zlewniach Stacji Bazowych pokazuje zachodzące stopniowo przemiany szaty roślinnej. Są to procesy powolne i efekty rozciągają się na dziesięciolecia. Na obecnym stanie badań wydaje się, że za przemiany florystyczne odpowiadają lokalne uwarunkowania, np. zmiany formy użytkowania ziemi czy wahania poziomu wód podziemnych. Trudno byłoby obecnie dynamikę zmian szaty roślinnej łączyć z takimi zmianami środowiskowymi jak zanieczyszczenie powietrza bądź jakość opadów atmosferycznych. Wpływ tych czynników może się jednak odzwierciedlić w

szacie roślinnej (pod warunkiem zachowania trendów zmian) po upływie dłuższego czasu.

13. W roku 2011 zakończono opracowanie map różnicowych użytkowania ziemi w okresie 2006/2008 i 2010 dla pozostałych Stacji Bazowych (Wigier, Puszczy Boreckiej, Kampinosu i Szymbarku). Dla czterech Stacji Bazowych (Białej Góry, Storkowa, Koniczynki i Świętego Krzyża) mapy takie zostały wykonane już wcześniej. Analiza map wykazała, że zmiany użytkowania ziemi obejmują stosunkowo małą część badanych zlewni – od 0,9 do 1,8% ich powierzchni i że są to zmiany różnokierunkowe. Zjawiskiem obserwowanym w dorzeczu górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo), które jak dotąd obejmuje niewielką część powierzchni zlewni, jest rozwój indywidualnego budownictwa mieszkalnego. Proces ten nasila się stopniowo od kilku lat i polega generalnie na wznoszeniu nowych obiektów mieszkalnych na gruntach uprzednio wykorzystywanych rolniczo. Rozwój budownictwa niesie z sobą przemiany innego rodzaju: budowę dróg, instalacji energetycznych i wodno-kanalizacyjnych, lokalne zmiany pokrycia i użytkowania ziemi. W roku 2011 obserwowano jego dalsze nasilenie, co może stać się w najbliższych latach jednym z poważniejszych czynników wpływających na stan środowiska geograficznego zlewni górnej Parsęty. Stacja w Koniczynce zwraca uwagę na potencjalne zagrożenie dla zlewni Strugi Toruńskiej ze strony przebiegającej w pobliżu (budowanej) autostrady.
14. Kilkunastoletnie badania wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w geoekosystemach zlewni rzecznych i jeziornych prowadzone w ramach programu ZMŚP ukazują współwystępowanie tendencji spadkowej stężeń jonów siarczanowych. Zachodzi w tym przypadku następujący ciąg przyczynowo – skutkowy:
    - ograniczenie emisji SO_2 do atmosfery,
    - spadek stężeń siarczanów w opadach atmosferycznych,
    - zmniejszenie depozycji atmosferycznej jonów sierczanowych,
    - obniżanie dostawy siarczanów do wód podziemnych,
    - w końcowym efekcie pojawianie się coraz niższych stężeń siarczanów w wodach powierzchniowych.

Opisana tendencja nie ogranicza się do zlewni badawczych w Stacjach Bazowych ZMŚP lecz ma prawdopodobnie charakter ogólnopolski/regionalny, choć uwarunkowania lokalne modyfikują jej przebieg w zależności od właściwości środowiska geograficznego oraz od stopnia nasilenia presji antropogenicznej.

15. Realizacja programu ZMŚP i uzyskiwane od roku 1994 wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków praktycznych:
    - w celu obniżania ładunków biogenów (głównie azotu) do wód powierzchniowych należy dążyć do zachowania lub odtworzenia podmokłych stref nadrzecznych, co wymaga wyeliminowania melioracji prowadzących do pogłębiania i prostowania koryt cieków,
    - znaczenie w miarę naturalnych stref nadrzecznych oraz strefy hyporeicznej w korycie cieku w ograniczaniu eutrofizacji jest bardzo ważne, zwłaszcza na obszarach użytkowanych rolniczo,
    - zachowanie (odbudowa) stref nadrzecznych w naturalnym układzie jest podkreślana w Ramowej Dyrektywie Wodnej przy ocenie hydromorfologicznej rzek; powinna być jak najszybciej przeprowadzona szczegółowa ocena stanu stref nadrzecznych w zlewniach badawczych ZMŚP, wraz z propozycją praktycznych działań dla jej ochrony/odbudowy,
    - niedopuszczalne powinno być zakładanie sieci wodociągowej na terenach wiejskich bez jednoczesnej budowy instalacji kanalizacyjnych podłączanych do oczyszczalni ścieków – w przeciwnym razie dochodzi do wzrostu zużycia wody i zanieczyszczania ściekami bytowymi i gospodarczymi wód podziemnych,
    - budowa instalacji kanalizacyjnych powinna być połączona z obowiązkową likwidacją zbiorników ściekowych (szamb),
    - należy zastosować restrykcyjne przepisy uniemożliwiające tworzenie tzw. „dzikich wysypisk” odpadów, np. poprzez wprowadzenie obowiązkowych, zryczałtowanych opłat w zamian za wywóz odpadów przez uprawnione jednostki,
    - ze względu na widoczną w części zlewni badawczych intensyfikację rolnictwa, w celu ochrony wód przed nadmierną eutrofizacją, winna być

prowadzona kontrola w zakresie przestrzegania norm regulujących dawki i metody stosowania nawozów sztucznych.

16. Monitoring funkcjonowania środowiska geograficznego różnych geoekosystemów Polski, reprezentowanych przez Stacje Bazowe ZMŚP, obejmujący rozpoznanie struktury wewnętrznej geoekosystemów oraz właściwości jakościowych i ilościowych różnego typu wód na kolejnych etapach obiegu, w dłuższym horyzoncie czasowym pozwala na uchwycenie mechanizmów kształtowania się i zmian chemizmu wód. Mechanizmy te związane są zarówno z naturalnymi warunkami środowiska geograficznego jak i uwarunkowaniami antropogenicznymi. Stwierdzane prawidłowości mają charakter ponadlokalny.

11. Literatura

Armbruster M., Feger K-H., 2004. Temporal trends in the chemical composition of precipitation, soil seepage and streamwater in two forested catchments in the Black Forest and the eastern Ore Mountains (Germany). W: M. Jóźwiak, A. Kowalkowski (red.), Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 5, Kielce, 129-148.

Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1993. Agrometeorologia. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Fałtynowicz W., 1995. Fałtynowicz W., 1995: Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza. Fundacja Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno.

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.

Herbich J., 2003. Dyrektywa Siedliskowa – założenia, realizacja, perspektywy. Parki Narodowe, 2, 3-8.

Ishikawa Y., Ohno T., Ohyama J., Ogawa K., Hara, H., 1998. Acidification of Precipitation at Ryori, Japan for 1976-1994. “Tenki”, Vol. 45-5. 351-360.

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.

Jóźwiak M., Jóźwiak M.A., Kozłowski R., Wróblewski H., Szwed M., 2012. Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Święty Krzyż w roku hydrologicznym 2011. Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Kochanowskiego, Stacja Monitoringu, Kielce, maszynopis.

Jóźwiak M., Kozłowski R., Wróblewski H., 2006. Stacja Bazowa Święty Krzyż. W: R. Kruszyk (red.), Stan, przemiany i funkcjonowanie geoekosystemów Polski w latach 1994-2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 213-258.

Kaczorowska Z., 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geogr. IG PAN, 33, 1-102.

Kejna M., (red.), 2012: Raport za rok hydrologiczny 2011. Stacja Bazowa ZMŚP w Koniczynce k. Torunia. UMK, WBiNoZ. Toruń, maszynopis.

Bochenek, W., Kijowska M., Kiszka K., 2012. Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Szymbark w roku hydrologicznym 2011. Stacja Naukowo-Badawcza IGiPZ PAN, Stacja Bazowa ZMŚP, maszynopis.

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., Szpikowska G., Szpikowski J., 2011. Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2011. Storkowo – Poznań, maszynopis.
Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1994: Dynamika transportu fluwialnego jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
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., Tylkowski J., Samołyk M., 2012. Sprawozdanie z realizacji programu badawczo-pomiarowego ZMŚP w Stacji Bazowej Biała Góra w roku 2011. Biała Góra, maszynopis.
Kostrzewski, A., Mazurek, M., Stach, A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego - Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
Kozłowski (red.)
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. (red.), 2011. Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Wigry w roku hydrologicznym 2010. Krzywe, maszynopis.
Krzysztofiak L., (red.), 2007. Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Wigry w roku hydrologicznym 2006. Krzywe, maszynopis.
Krzysztofiak L., (red.), 2008. Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Wigry w roku hydrologicznym 2007. 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.
Macioszczyk A. 1987. Hydrogeochemia, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
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, Wydz. Mat.-Przyr., Prace Kom. Geograf-Geolog., t. 40, Poznań.

Mazurek M., 2000. Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). Wyd. 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.

Ochrona Środowiska, 2005. GUS, Warszawa.

Ochrona Środowiska, 2010. GUS, Warszawa.

Olszewski A., (red.), 2012. Raport o stanie środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP „Kampinos" w roku 2011. Kampinoski Park Narodowy, Granica – Izabelin, maszynopis.

Rajda W., Ostrowski K., Kowalik T., Marzec J., 1994. Zawartość niektórych składników chemicznych w wodzie opadowej i odpływającej z mikrozlewni rolniczych. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCLXVIII, 83-91.

Rynkiewicz A., 2007. Problemy eutrofizacji wód w Polsce i ich ograniczanie w sposób naturalny. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Poznań.

Rzychoń D., Worsztynowicz A., 2005. Zmiany składu chemicznego wód jezior tatrzańskich spowodowane zmieniającym się charakterem depozycji z powietrza. W: A. Kostrzewski, R. Kolander (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji, Bibl. Monit. Środ., 513-522.

Śnieżek T., (red.), 2012. Ocena stanu środowiska Stacji Bazowej ZMŚP Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2011. Instytut Ochrony Środowiska, Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, Warszawa, maszynopis.

Śnieżek T., 2001. Ocena realizacji programu w roku hydrologicznym 1999. Maszynopis.

Stan Środowiska w Polsce – raport PIOŚ, 1998: Bibl. Monit. Środ., Warszawa.

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, w druku.

Trzeciak A., 1995. Wstęp do chemii nieorganicznej środowiska. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.

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.

Wilkosz I., 2000. Skład równowagowy wody atmosferycznej. W: J. Burchard (red.), Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 63-69.

Wójcik G., (red.), 1998. Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Koniczynce k. Torunia za lata hydrologiczne 1994-1997. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoekosystemów Polski w latach 1994-1997. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 123-160.

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

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.