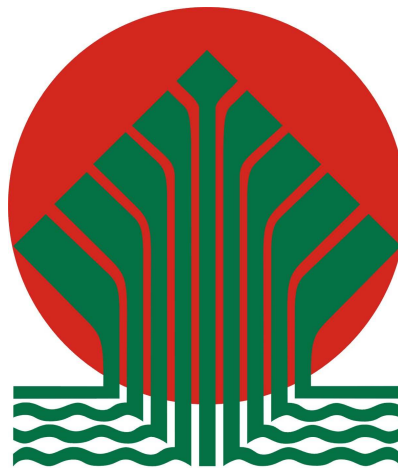
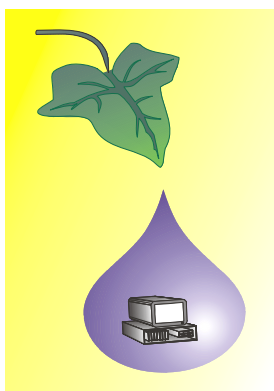




Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

**Opracowanie sprawozdania pt.
„Raport o stanie geoekosystemów
Polski w roku 2009”.**

SPIIS TREŚCI

Organizacja i funkcjonowanie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2009 roku – <i>Andrzej Kostrzewski</i>	2
Stan geoeekosystemów Polski w roku 2009 – <i>Robert Kruszyk</i>	15
Wprowadzenie.....	15
Warunki hydrometeorologiczne.....	19
Warunki opadowe.....	19
Warunki hydrologiczne.....	24
Depozycja atmosferyczna.....	31
Zanieczyszczenie powietrza.....	31
Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych.....	36
Przepływ materii w profilu: atmosfera – roślinność – gleba.....	48
Obieg materii w skali zlewni rzecznej.....	62
Bioindykacja.....	76
Podsumowanie.....	89
Literatura.....	97

Organizacja i funkcjonowanie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2009 roku.

Wprowadzenie

Aktualny stan i współczesne przemiany środowiska przyrodniczego Polski oraz poszczególnych jednostek przestrzennych – geoekosystemów, pozostają pod wpływem zwiększającej się częstotliwości procesów o charakterze ekstremalnym, często ze skutkami katastrofalnymi. Znane w literaturze zagranicznej wyrażenie słowne „clustering”, używane jest powszechnie w Polsce dla określenia powtarzających się w stosunkowo krótkich przedziałach czasowych procesów o charakterze ekstremalnym. Powtarzające się procesy ekstremalne w umiarkowanej strefie klimatycznej powodują m.in. – przedłużające się w czasie i przestrzeni powodzie, zintensyfikowane procesy erozji gleb i osuwiskowe.

Obserwowane zmiany klimatu oraz różnokierunkowa antropopresja, stanowią ważne uzasadnienie ciągłej weryfikacji założeń i programu monitoringu środowiska przyrodniczego. Ostatnia dekada to zwiększona częstotliwość procesów o charakterze ponadprzeciętnym i katastrofalnym, którym należy poświęcić więcej miejsca w programie monitoringu i sporządzonych scenariuszach rozwoju środowiska przyrodniczego Polski. Kolejna bardzo istotna sprawa to zachodzące zmiany struktury użytkowania terenu i ich wpływ na organizację terenowego systemu pomiarowego. W realizacji programu monitoringu środowiska przyrodniczego brak obowiązku prowadzenia systematycznych studiów diagnostycznych, jako podstawy oceny stanu aktualnego badanego środowiska, określenia kierunków zagrożeń dla przedstawienia programu ochrony. W zbyt małym stopniu rozwinięty jest monitoring ostrzegawczy, tak bardzo ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa człowieka. Kolejna bardzo istotna sprawa, to dostosowanie systemu monitoringu do wymogów Unii Europejskiej. Przedstawione wybrane przejawy funkcjonowania monitoringu środowiska przyrodniczego, winny być uwzględnione w systemie Państwowego Monitoringu Środowiska oraz w podsystemie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Monitoring Środowiska Przyrodniczego na obecnym etapie badań środowiskowych, należy uznać jako samodzielną dziedzinę badań w naukach o środowisku. Podstawowym zadaniem tej dziedziny badań środowiskowych jest wypracowanie założeń i standardów pomiarowych, także podsystemu ZMŚP.

Należy utrwalić przekonanie, że monitoring środowiska przyrodniczego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska oznacza nie tylko zbieranie, ale także

analizowanie i udostępnianie danych o środowisku przyrodniczym w skali lokalnej, regionalnej, kontynentalnej i globalnej. Tak definiowany monitoring środowiska przyrodniczego stanowi ważne ogniwo systemu ochrony przyrody w Polsce. Informacje o aktualnym stanie środowiska przyrodniczego, jego zagrożeniach, stanowią dobrą podstawę dla formułowania wniosków o kierunkach ochrony środowiska przyrodniczego oraz opracowania prognoz krótko i długoterminowych rozwoju środowiska w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji.

Powyższe założenia monitoringu środowiska przyrodniczego są realizowane w programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, który jest podsystemem Państwowego Monitoringu Środowiska (PIOŚ 1998). W 2009 roku program ZMŚP realizowany był na 8 Stacjach Bazowych, równocześnie był to piętnasty rok realizacji programu w zakresie podstawowym. Należy zaznaczyć, że zaawansowane są prace organizacyjne, w zakresie uznania Pracowni Naukowej Roztoczańskiego Parku Narodowego, w współpracy z Uczelniami wyższymi miasta Lublina, jako kolejnej Stacji Bazowej ZMŚP. Program ZMŚP realizowany jest na Stacjach Bazowych w zasięgu wytypowanych zlewni rzecznych lub jeziornych (geoekosystemów), które uznano jako obszary reprezentatywne dla terytorium Polski.

W prezentowanym raporcie z realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2009 roku, przedstawione zostaną wyniki monitoringu środowiska na 8 Stacjach Bazowych. Zamieszczony materiał dokumentacyjny pozwala na ocenę aktualnego stanu środowiska przyrodniczego wybranych geoekosystemów Polski. Biorąc pod uwagę czasokres obserwacji możliwe jest sformułowanie prawidłowości w zakresie tendencji rozwoju i proponowanych form ochrony georóżnorodności i bioróżnorodności badanych geoekosystemów. Zamieszczone wyniki badań mogą być przydatne w studiach porównawczych oceny środowiska przyrodniczego geoekosystemów Europy, w pracach planistycznych, jak również w realizacji programów międzynarodowych m.in. programu Integrated Monitoring.

Do zasadniczych problemów w realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2009 roku można zaliczyć:

- dyskusja w zakresie weryfikacji programu pomiarowego ZMŚP, w ścisłym powiązaniu z wytycznymi GIOŚ,
- większe uwzględnienie indywidualności geograficznej Stacji Bazowych w realizowanych programach specjalistycznych,
- weryfikacja koncepcji raportu rocznego ZMŚP, ze zwróceniem uwagi na odniesienie aktualnego stanu środowiska przyrodniczego do lat poprzednich oraz określenie skali przemian środowiskowych,
- ściślejsze powiązanie obserwowanych przemian środowiska przyrodniczego z zmianą struktury użytkowania terenu (m.in. wpływ wielkich miast),

- ściśle powiązanie realizacji programu ZMŚP z monitoringami regionalnymi, specjalistycznymi i monitoringiem europejskim.

Założenia metodologiczne i metodyczne organizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Środowisko przyrodnicze Polski podlega w ostatnich latach wyraźnym zmianom i przekształceniom. Tempo i skala obserwowanych zmian są zróżnicowane. Zmianom podlegają poszczególne elementy środowiska, jak i określone układy przestrzenne (struktury), które umownie możemy nazwać geoekosystemami lub krajobrazami.

Dla wydzielonych się w przestrzeni struktur krajobrazowych przyjęto nazwę geoekosystemy (Kostrzewski 1993). Geoekosystem (Kostrzewski 1993) jest jednostką przestrzenną o zróżnicowanej wielkości i strukturze, którego ranga taksonomiczna jest zależna od przyjętego kryterium klasyfikacji. W programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego dla badanych zlewni rzecznych, przyjęto także termin geoekosystem. Zlewnia rzeczna jest geoekosystemem, w którego strukturze wydzielamy podsystemy (zlewnie dopływów), elementy (rzeźba, litologia, gleby, warunki pogodowe, wody, roślinność, zwierzęta) i obiekty (człowiek i urządzenia przez niego wprowadzone).

Stacje Bazowe ZMŚP zlokalizowane są w typowych dla obszaru Polski krajobrazach (geoekosystemach) i reprezentują krajobrazy wybrzeża Półwyspu Bałtyckiego (Stacja Bazowa, Biała Góra), krajobrazy młodoglacjalne Pojezierza Pomorskiego (Stacja Bazowa Storkowo), krajobrazy młodoglacjalne Pojezierza Mazurskiego (Stacja Bazowa Puszcza Borecka i Stacja Bazowa Wigry), krajobrazy nizin o różnej genezie i dolin rzecznych (Stacja Bazowa Koniczynka i Stacja Bazowa Pożary), krajobrazy wyżyn i gór niskich (Stacja Bazowa Św. Krzyż) oraz krajobrazy gór średnich (Stacja Bazowa Szymbark). Należy mocno podkreślić, że w sieci Stacji Bazowych nie jest w pełni reprezentowana struktura krajobrazowa kraju. Tak więc należy rozważyć sygnalizowane wcześniej włączenie do sieci Stacji Bazowych ZMŚP – stacje w zachodniej części Polski (Karkonoskiego i Wielkopolskiego Parku Narodowego), stacje we wschodniej części (Białowieskiego Parku Narodowego) oraz w południowo-wschodniej części kraju (Poleskiego Parku Narodowego, Roztoczańskiego Parku Narodowego, zlewnia podmiejska UAM – zlewnia Różany Potok). Główny Inspektor Ochrony Środowiska przyjął propozycję o uznanie Stacji Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Zwierzyńcu jako Stacji Bazowej ZMŚP, pod warunkiem dostosowania systemu pomiarowego do standardów ZMŚP. W przypadku poszerzenia sieci Stacji Bazowych ZMŚP, charakterystyka struktury krajobrazowej Polski i jej przemian będzie pełniejsza. Lepiej będzie można obserwować zmiany środowiska przyrodniczego w skali regionalnej i krajowej.

Istotnym uwarunkowaniem lokalizacji Stacji Bazowych ZMŚP jest nawiązanie do podziału administracyjnego kraju. Biorąc pod uwagę funkcje Stacji Bazowych,

przekonywująca jest wcześniejsza propozycja lokalizacji Stacji Bazowej w każdym województwie oraz przypisanie jej dodatkowych zadań wynikających z programu określonego przez Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska.

Należy także podkreślić wcześniejsze ciągle aktualne propozycje lokalizacji Stacji Bazowych w Parkach Narodowych, rozmowy w tym zakresie są prowadzone. Informacje z realizacji programu ZMŚP na Stacjach Bazowych winny być wykorzystywane w planach zagospodarowania przestrzennego gmin, powiatów, województw, a także w planach ochrony przyrody parków narodowych. Niestety w tym zakresie brak wypracowanego systemu przekazywania informacji.

Zgodnie z przyjętymi założeniami metodologicznymi programu ZMŚP, podstawową jednostką przestrzenną systemu pomiarowego, jak już podkreślono wcześniej jest zlewnia rzeczna, traktowana jako geoekosystem (Kostrzewski 1986, 1993, Kostrzewski, Mazurek, Stach 1995). Wytypowane do monitoringu środowiska przyrodniczego geoekosystemy, traktujemy jako reprezentatywne dla określonego regionu geograficznego (lub strefy krajobrazowej), co równocześnie upoważnia do uogólnień przyjętych prawidłowości. W zasięgu zlewni (rzecznej, jeziornej) zakładany jest system pomiarowy (m.in. ogródek meteorologiczny, sieć piezometrów, powierzchnie testowe). Pod względem metodycznym system pomiarowy nawiązuje do koncepcji funkcjonowania geoekosystemu (Kostrzewski 1986, 1993), jest zgodny ze standardami przyjętymi przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. W odniesieniu do powierzchni zlewni (rzecznej, jeziornej) obliczane są określone wartości wskaźnikowe stanu środowiska, sporządzane bilanse oraz modele funkcjonowania środowiska przyrodniczego. Bardzo istotnym zadaniem monitoringu środowiska przyrodniczego jest wypracowanie wskaźników jakości środowiska, jest to podstawowe zadanie w realizacji programu ZMŚP.

Analizę zebranej dokumentacji należy oprzeć na założeniach metodycznych geograficznych systemów informacji. W tym zakresie zostaną wypracowane odpowiednie standardy wizualizacji.

Biorąc pod uwagę piętnastoletni okres obserwacyjny, realizowany w ramach programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego należy stwierdzić, że uzyskane dane pomiarowe zostały zweryfikowane, a więc są wiarygodne i upoważniają do oceny stanu środowiska przyrodniczego wybranych geoekosystemów Polski oraz określenia tendencji ich rozwoju. Zebrane ciągi obserwacyjne mogą być podstawą także studiów prognostycznych. Zweryfikowane tematyczne bazy danych są ważnym atrybutem funkcjonowania programu ZMŚP.

Realizacja programu podstawowego ZMŚP na Stacjach Bazowych, poszerzona jest przyjętym zakresem programów specjalistycznych związanych ze specyfiką środowiska przyrodniczego zlewni (np. program – badania erozji gleb, osuwisk, zlewni drenarskich, abrazji klifów), m.in. także realizowanych w ramach umowy z Wojewódzkimi Inspektoratami

Ochrony Środowiska względnie uzgodnieniami z podsystemami monitoringów specjalistycznych Państwowego Monitoringu Środowiska.

Bardzo istotnym zadaniem realizowanego programu ZMŚP na Stacjach Bazowych jest poszerzenie programów specjalistycznych.

W większym stopniu w analizie środowiska przyrodniczego należy zwrócić uwagę na sygnalizowane na wstępie badania w zakresie zmian struktury użytkowania terenu. W szerszym zakresie w opracowaniu wyników należy wykorzystać metody GIS. Program ZMŚP musi być powiązany, odpowiadać na pytania stawiane w programie Natura 2000, Ramowej Dyrektywie Wodnej, oraz w programie Integrated Monitoring. Założenie powyższe jest ważnym zobowiązaniem dla Stacji Bazowych ZMŚP a przede wszystkim musi być wyeksponowane w założeniach programowych ZMŚP.

Organizowane Sympozja ZMŚP, szkoły letnie, spotkania specjalistów stymulują w znaczącym stopniu poziom organizacyjny i merytoryczny ZMŚP, są bardzo ważną częścią realizacji programu ZMŚP.

Stacje Bazowe w programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2009 roku i ich znaczenie w ochronie i kształtowaniu środowiska przyrodniczego

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego ma na celu rejestrację i analizę krótko i długookresowych zmian, zachodzących w geoekosystemach pod wpływem zmian klimatu, zanieczyszczeń i innych przejawów ingerencji człowieka. Z kolei ustala bilans energetyczny i materialny geoekosystemu, zmiany jego struktury wewnętrznej, przedstawia prognozę i plan ochrony (Kostrzewski 1995, Kostrzewski, Mazurek, Stach 1995). Tak sformułowane cele ZMŚP w pełni służą ochronie środowiska przyrodniczego regionu i kraju. Zgodnie z przyjętymi założeniami metodologicznymi i metodycznymi ZMŚP, podstawową jednostką przestrzenną w analizie środowiska przyrodniczego jest zlewnia rzeczna, traktowana jako geoekosystem.

Program ZMŚP aktualnie realizowany jest w 8 Stacjach Bazowych, których zlewnie rzeczne, jeziorne reprezentują wybrane geoekosystemy Polski, uznane za reprezentatywne dla struktury krajobrazowej kraju. W strukturze organizacyjnej ZMŚP, Stacje Bazowe spełniają pierwszoplanową rolę, a ich zadaniem jest realizacja programu monitoringu w zasięgu wytypowanych do badań zlewniach rzecznych lub jeziornych. W odniesieniu do aktualnej sieci Stacji Bazowych, nasuwają się następujące uwagi: pomimo trudności finansowych, należy pamiętać, że ciągle aktualny jest problem rozszerzenia sieci Stacji Bazowych o dodatkowe geoekosystemy. Wstępną aprobatę ubiegania się o status Stacji Bazowej otrzymała stacja naukowa Roztoczańskiego Parku Narodowego, działająca w współpracy z Uczelniami Lubelskimi. Ciągle aktualny jest problem utworzenia Stacji Bazowych na terenie Wielkopolskiego, Karkonoskiego, Białowieskiego i Poleskiego Parku Narodowego. Ważny z merytorycznego punktu widzenia jest pogląd, aby na terenie każdego

Parku Narodowego zlokalizowana była Stacja Bazowa ZMŚP. Założenia organizacyjne Stacji Bazowej ZMŚP są w pełnej zgodności z zadaniami ochrony środowiska przyrodniczego Parków Narodowych. Z kolei Parki Narodowe zabezpieczają trwałość działalności stacji monitoringu środowiska przyrodniczego, co z punktu widzenia metodycznego jest sprawą zasadniczą. Taka koncepcja w lepszym stopniu pozwoliłaby wykorzystać wyniki monitoringu.

Z punktu widzenia planistycznego ważne jest założenie, że na terenie każdego województwa, winna znaleźć lokalizację Stacja Bazowa ZMŚP. Stacje Bazowe ZMŚP muszą w większym stopniu uwzględniać wnioski przekazywane przez Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska oraz inne jednostki administracji wojewódzkiej.

W granicach zlewni (rzecznej lub jeziornej) lokalizowane są obiekty badawcze: stanowiska pomiarowe, profile, transekty, powierzchnie testowe. Kryteria wyboru i lokalizacji obiektów badawczych ustala zespół specjalistów ZMŚP, uwzględniając zarówno przesłanki merytoryczne pomiaru danego parametru, jak również indywidualność przyrodniczą monitorowanego geoekosystemu. W roku sprawozdawczym dużo uwagi poświęcono standaryzacji metod pomiarowych Nastazjach Bazowych, biorąc pod uwagę opinie zespołu specjalistów ZMŚP (realizowany grant aparaturowy NFOŚ). Należy dodać, że na wybranych obiektach badawczych winny być organizowane pomiary innych podsystemów PMŚ, to bardzo ważne zarówno z merytorycznego jak i czysto praktycznego punktu widzenia.

Stacje Bazowe są zobowiązane do uzgodnień realizacji programu podstawowego z odpowiednim Wojewódzkim Inspektorem Ochrony Środowiska i ewentualnie innymi instytucjami w oparciu o specjalne porozumienia. Kontakty z WIOŚ winny sprzyjać lokalizacji stanowisk monitoringu regionalnego na obszarze zlewni. Ten bardzo ważny przejaw działalności Stacji Bazowych zabezpiecza trwałość ich funkcjonowania w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego regionu. Stacje Bazowe zobowiązane są corocznie przekazywać informacje o stanie aktualnym środowiska przyrodniczego monitorowanego geoekosystemu na potrzeby WIOŚ. Zamieszczenie sprawozdania z Stacji Bazowej w raportach WIOŚ należy uznać jako obligatoryjne.

Słabą stroną działalności Stacji Bazowych są w zasadzie nie nawiązane kontakty z tzw. stacjami satelitarnymi (stacje badań środowiska przyrodniczego innych instytucji, zlokalizowane na terenie zlewni lub w jej sąsiedztwie). Stacje satelitarne są oczywiście niezależne organizacyjnie, ale mogą współpracować ze Stacjami Bazowymi w realizacji monitoringu zintegrowanego na obszarze zlewni, wykonując część programu pomiarowego ZMŚP (lub odwrotnie).

Sieć Stacji Bazowych stanowi zabezpieczenie realizacji programu ZMŚP w Polsce na trzech poziomach: lokalnym (obiekty badawcze Stacji Bazowej), regionalnym (obiekty badawcze Stacji Bazowej, monitoringów specjalistycznych PMŚ oraz innych instytucji), krajowym (różne podsystemy PMŚ) i europejskim (sieć międzynarodowa Integrated Monitoring). Analiza danych ZMŚP możliwa jest na następujących poziomach: na poziomie

geoekosystemu zlewni (rzecznej lub jeziornej), regionu geograficznego (także kontynentu), jednostek administracyjnych (gminy, powiatu, województwa, kraju). Przedstawiony system winien być gruntownie przedyskutowany w celu przedstawienia konkretnych rozwiązań organizacyjnych, co znacznie ułatwiłoby przepływ informacji o środowisku przyrodniczym.

W oparciu o sieć Stacji Bazowych realizowane są podstawowe cele ZMŚP:

- Poznanie mechanizmów obiegu energii i materii w podstawowych typach geoekosystemów,
- Wskazanie tendencji rozwoju geoekosystemów (prognozy krótko i długoterminowe) oraz sposobów ochrony i zachowania ich zasobów,
- Określenie rodzaju i charakteru zagrożeń geoekosystemów (wyznaczenie wartości progowych) oraz przedstawienie propozycji ich zapobiegania,
- Opracowanie scenariuszy rozwoju geoekosystemów w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej ingerencji człowieka (modelowanie systemów przyrodniczych),
- Zebranie podstawowych danych (jakościowych i ilościowych, w bazie danych o odpowiedniej strukturze) o stanie aktualnym geoekosystemów,
- Opracowanie na konkretne zamówienie informacji o geoekosystemach.

Do najważniejszych zadań, które winny być uwzględnione w pracach ZMŚP należy zaliczyć:

- Opracowanie map użytkowania terenu zlewni (rzecznej lub jeziornej),
- Opracowanie mapy geosozologicznej zlewni (rzecznej lub jeziornej), z zaznaczeniem wartości wskaźnikowych jakości środowiska,
- Przedstawienie modelu funkcjonowania monitorowanego geoekosystemu,
- Uszczegółowienie specjalistycznych baz danych, dotyczących poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego,
- Opracowanie koncepcji monografii monitorowanego geoekosystemu, z punktu widzenia ochrony środowiska przyrodniczego,
- Przedstawienie koncepcji zasięgu tzw. tła przyrodniczego Stacji (obszary sąsiednie),
- Opracowanie koncepcji specjalnego czasopisma ZMŚP.

Powyższe cele i zadania ZMŚP są uwzględniane w rocznych raportach ZMŚP. Należy zaznaczyć, że sprawozdaniu za rok 2009 nie wszystkie zadania ZMŚP zostały w pełni zrealizowane m.in. – zbyt mało zalecanych przez specjalistów wartości wskaźnikowych jakości środowiska, w zbyt małym stopniu uwzględniane są w obserwowanych przemianach środowiska przyrodniczego zmiany struktury użytkowania terenu. W toku uzgodnień z GIOŚ jest czasopismo ZMŚP. Sprawą pierwszorzędnej wagi jest wprowadzenie Stacji Bazowych ZMŚP do europejskiej sieci Integrated Monitoring. Przekazywane są roczne raporty ZMŚP. Planowane jest aby w XX Sympozjum w 2011 roku wziął udział przedstawiciel Integrated Monitoring, w celu zapoznania się z koncepcją Stacji Bazowych w terenie.

Przedstawione założenia dotyczące działalności Stacji Bazowych pozwalają na stwierdzenie, że program ZMŚP służy ochronie środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów. Inaczej formułując można stwierdzić, że program ZMŚP jest programem ochrony georóżnorodności i bioróżnorodności geoekosystemów, sprzyja koncepcji zachowania struktury krajobrazowej regionu i kraju. Wyniki badań powinny być wykorzystywane w programach zagospodarowania przestrzennego na różnych poziomach zarządzania, jak również w programach międzynarodowych.

Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2009, propozycje zmian.

Aktualny system pomiarowy na Stacjach Bazowych ZMŚP pozwala na monitorowanie podstawowych elementów środowiska przyrodniczego. Uzyskane z monitoringu wyniki są podstawą do kompleksowej oceny środowiska przyrodniczego, mogą być wykorzystane w opracowaniu planu jego ochrony. Zobowiązaniem Stacji Bazowej jest przedstawienie w rocznych raportach nie tylko oceny stanu środowiska przyrodniczego i tendencji przemian, ale także propozycji planu ochrony badanego geoekosystemu. Uzyskane wyniki monitoringu na Stacjach Bazowych publikowane są w raportach o stanie środowiska odpowiednich WIOŚ. Należy zadbać o upowszechnienie wyników w biuletynach zagospodarowania przestrzennego oraz w programach międzynarodowych (Integrated Monitoring), jest to sprawa pierwszorzędnej wagi z punktu widzenia wykorzystania wyników badań. Badaniom monitoringowym należy nadać odpowiednią rangę merytoryczną i aplikacyjną.

Program ZMŚP realizowany przez Stacje Bazowe jak zaznaczono obejmuje tzw. program podstawowy (standard), który aktualnie wykonują wszystkie Stacje. Ocenę poprawności metodycznej wykonywanych pomiarów i analityki laboratoryjnej, dokonuje corocznie zespół specjalistów ZMŚP. Mankamenty merytoryczne i metodyczne w zakresie pomiarów terenowych i laboratoryjnych są korygowane przez specjalistów i wprowadzane na Stacjach Bazowych.

Na obecnym etapie rozwoju metodologicznego i metodycznego nauk o środowisku, do najważniejszych zadań ZMŚP w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego należy zaliczyć:

- Sprawą bardzo istotną jest powiązanie sieci Stacji Bazowych ZMŚP z siecią europejską i światową a w związku z tym stała weryfikacja i standaryzacja metod badawczych w skali krajowej i międzynarodowej. Udział przedstawicieli Integrated Monitoring w XX Sympozjum ZMŚP w Polsce. Włączenie Stacji Bazowych do sieci europejskiej. Odpowiedzialny specjalista ds. Integrated Monitoring.

- Zastosowanie koncepcji progów w badaniach geoeosystemów, zgodnie z koncepcją funkcjonowania geoeosystemu (Kostrzewski 1986, 1992). Pod pojęciem progu rozumiemy określoną wartość dotyczącą jakości badanego elementu lub procesu przyrodniczego, którego przekroczenie wywołuje istotne zmiany (pozytywne lub negatywne) w środowisku przyrodniczym. Na obecnym etapie realizacji programu ZMŚP, Stacje Bazowe dysponują już bogatym (wieloletnim) materiałem dokumentacyjnym, który upoważnia do określenia wartości progowych w przebiegu podstawowych elementów środowiska przyrodniczego i związanych z nimi procesów. Zgodnie z koncepcją funkcjonowania geoeosystemu (Kostrzewski 1986, 1992, 1995) dla badanych zlewni (rzecznych , jeziornych) należy wyznaczyć: obszar stanów dozwolonych, obszar stabilności, czas relaksacji, odporność geoeosystemu. Wyznaczone wartości progowe są ważnymi cechami wskaźnikowymi ewolucji i stanu środowiska przyrodniczego, mają znaczenie teoretyczne i praktyczne. Specjaliści ZMŚP zobowiązani są do wyznaczenia wartości progowych, w odniesieniu do monitorowanych elementów środowiska przyrodniczego. Wyznaczenie wartości progowych ma zasadnicze znaczenie w rejestracji procesów ekstremalnych.
- Bardzo istotną sprawą do realizacji w programie Stacji Bazowych jest kartograficzna rejestracja zmian struktury użytkowania terenu. Realizowane prace należy powiązać z wykonywanymi projektami regionalnymi, ogólnopolskimi i europejskimi. Dla szczegółowej analizy środowiska przyrodniczego, niezbędne jest opracowanie zmian struktury użytkowania terenu w czasach historycznych, w oparciu o dostępne materiały archiwalne. Ocenę stanu środowiska przyrodniczego należy powiązać ze zmianą struktury użytkowania terenu oraz zwrócić uwagę na jej wpływ na skład fizyko-chemiczny wód gruntowych i rzecznych, a także na zagospodarowanie przestrzenne. Powyższe uwagi muszą być uwzględnione w raportach rocznych.
- Mapa geosozologiczna monitorowanych geoeosystemów to kolejne zobowiązanie dla Stacji Bazowych ZMŚP. Mapa geosozologiczna winna dokumentować aktualny stan środowiska przyrodniczego z zaznaczeniem źródeł zagrożeń i degradacji środowiska. Analizowana mapa winna być sporządzona w oparciu o sporządzoną inwentaryzację georóżnorodności i bioróżnorodności zlewni. Efektem prowadzonych prac winien być projekt form ochrony przyrody nieożywionej i ożywionej. Dla wytypowanych obiektów przyrody nieożywionej i ożywionej należy sporządzić odpowiednią dokumentację w celu przypisania im odpowiedniej formy ochrony. Za realizację tego zobowiązania odpowiedzialny będzie specjalista ekolog i geoinformatyk.
- Analizę materiału dokumentacyjnego i wyników monitoringu środowiska przyrodniczego w poszczególnych geoeosystemach, w większym stopniu należy powiązać z planami ochrony przyrody i zagospodarowania przestrzennego (odpowiedzialny specjalista – ekolog)

- W opisie badanych geoeekosystemów należy wyraźnie wyróżnić stany ponadprzeciętne i katastrofalne w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego. Nie trzeba uzasadniać jak ważne jest wyznaczenie tych wartości np. dla opadów atmosferycznych, procesów fluwialnych, przebiegu erozji gleb czy stateczności stoków i uruchomienia osuwisk. Występujące powodzie w naszym kraju zwracają uwagę na potrzebę monitoringu procesów o charakterze ponadprzeciętnymi katastrofalnym. Niestety system pomiarowy Stacji Bazowych nie jest generalnie dostosowany do rejestracji zdarzeń o charakterze ponadprzeciętnym i katastrofalnym. Stacje Bazowe winny prowadzić kartograficzną rejestrację (przy zastosowaniu metod GIS) zdarzeń o charakterze katastrofalnym, ich skutków w środowisku przyrodniczym. Wspólnie z WIOŚ Stacje Bazowe winny opracować system ostrzegania monitorowanych geoeekosystemów w zakresie zdarzeń katastrofalnych. W oparciu o zgodę z Ministrem Jagusiewiczem w 2010 roku, zostanie zorganizowana konferencja n/t. procesów ekstremalnych.
- Opracowania stanu i funkcjonowania monitorowanych geoeekosystemów, winny zawierać wskaźniki jakości środowiska. Wskaźniki te winny być wykorzystane w planach zagospodarowania przestrzennego. Ostatnie wydawnictwo Inspektoratu Ochrony Środowiska (IOŚ 2000) zawiera informacje o stanie środowiska w Polsce, zawiera także raport wskaźnikowy prezentując interesujące zależności środowiskowe - presje, stan, reakcja. Propozycja w tym zakresie musi być wykorzystana w raportach ZMŚP. W większym stopniu program ZMŚP i analizę wyników należy powiązać z założeniami Programu Natura 2000, Dyrektywy Wodnej i Integrated Monitoring. Za realizację tego zobowiązania odpowiedzialni są kierownicy Stacji Bazowych.
- Wykorzystanie profesjonalnej bazy danych ZMŚP do programów symulacji rozwoju środowiska przyrodniczego, przy przyjęciu różnych scenariuszy w zakresie zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji. Odpowiedzialny specjalista ds. modelowania.
- Opracowanie propozycji serii monografii problemowych dotyczących oceny stanu aktualnego i funkcjonowania geoeekosystemów rzecznych – m.in. znaczenie procesów ekstremalnych, znaczenie struktury użytkowania terenu, przewidywane tendencje rozwoju. Odpowiedzialny koordynator programu ZMŚP.
- Opracowanie monografii Stacji Bazowej z punktu widzenia oceny stanu i ochrony środowiska przyrodniczego. Kolejna seria monografii monitorowanych geoeekosystemów, winna w lepszym stopniu prezentować zmiany struktury użytkowania terenu, przemiany środowiska przyrodniczego, zagrożenia środowiska przyrodniczego oraz modele prognostyczne. Odpowiedzialni kierownicy Stacji Bazowych.
- Opracowanie koncepcji i powołanie Komitetu Redakcyjnego czasopisma ZMŚP. Odpowiedzialny koordynator i sekretarz ZMŚP.

Przedstawione propozycje były przedmiotem dyskusji na spotkaniach kierowników Stacji Bazowych i specjalistów ZMŚP. Dużo konkretnych propozycji skierowanych zostanie do specjalistów ZMŚP (por. zestawienie).

Powyższe, wybrane propozycje wskazują, że realizowany program ZMŚP dobrze służy ochronie środowiska przyrodniczego poszczególnych regionów i całego kraju. Sprawą pierwszorzędnej wagi jest odpowiednie wykorzystanie uzyskanych wyników z realizacji programu ZMŚP w planach zagospodarowania przestrzennego, edukacji regionalnej i realizacji programów międzynarodowych.

Podsumowanie

Realizacja i analiza wyników monitoringu środowiska przyrodniczego w roku sprawozdawczym 2009, była w większym stopniu powiązana z zobowiązaniami wynikającymi z programu Natura 2000 i Ramowej Dyrektywy Wodnej. Przedstawione propozycje realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego wiążą w większym stopniu uzyskane wyniki z narodową strategią zrównoważonego rozwoju i mogą być przydatne w realizacji programów międzynarodowych. Jednoznacznie można stwierdzić, że w realizacji programu ZMŚP w pełni respektowana jest zasada badań kompleksowych w oparciu o zorganizowane badania stacjonarne. Stacje Bazowe winny być włączone do lokalnych, regionalnych, krajowych i międzynarodowych programów monitoringu środowiska przyrodniczego.

Do najważniejszych aktualnie zadań Stacji Bazowych ZMŚP w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego należy zaliczyć:

- Weryfikacja programu podstawowego (koncepcja zmian), który realizowany jest przez wszystkie Stacje Bazowe, wyeksponowanie programów specjalistycznych,
- Stała weryfikacja i standaryzacja metod badawczych w celu uzyskiwania wiarygodnych, porównywalnych wyników monitoringu środowiska przyrodniczego (organizacja szkół ZMŚP),
- Systematyczne uwzględnianie w stosowanych metodykach, technikach pomiarowych i interpretacji wyników, postępu w rozwoju nauk o środowisku przyrodniczym (organizacja sympozjów ZMŚP),
- Systematyczne prace nad powiązaniem programu ZMŚP z programami monitoringu w skali regionalnej i europejskiej i zintensyfikowanie kontaktów z centralą Integrated Monitoring.
- Opracowanie scenariuszy rozwoju monitorowanych geosystemów w oparciu o przyjęte modele z przeznaczeniem dla oceny stanu środowiska przyrodniczego i potrzeb zagospodarowania przestrzennego.
- Opracowanie tzw. raportów wskaźnikowych z prezentacją stanu i jakości środowiska przyrodniczego z punktu widzenia Programu Natura 2000 i Ramowej Dyrektywy Wodnej,

- Opracowanie serii monografii Stacji Bazowej z uwzględnieniem strategicznych założeń zrównoważonego rozwoju, Programu Natura 2000 i Ramowej Dyrektywy Wodnej.
- Opracowanie słownika terminów w zakresie Monitoringu Środowiska Przyrodniczego oraz kolejnej edycji „Metodyki badań”
- Opracowanie koncepcji i uruchomienie czasopisma ZMŚP (w ramach Biblioteki Monitoringu GIOŚ)

Piętnastoletni okres realizacji programu ZMŚP, stanowi dobrą podstawę do jego dalszego rozwijania, w oparciu o postęp metodologiczny i metodyczny nauk o środowisku przyrodniczym z uwzględnieniem wytycznych Głównego Inspektora Ochrony Środowiska.

Badania interdyscyplinarne są podstawą postępu merytorycznego i metodycznego realizacji programu ZMŚP. W oparciu o dotychczasowe wyniki monitoringu należy wypracować hierarchizację intensywności procesów przyrodniczych oraz nadać im odpowiednie rangi, a także włączyć do programu założenia monitoringu ostrzegawczego i procesów ekstremalnych.

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego należy uznawać jako integralny podsystem Państwowego Monitoringu Środowiska, przy zachowaniu jego funkcji badawczej, weryfikującej założenia monitoringu środowiska przyrodniczego. Oznacza to, że ZMŚP należy przypisać dodatkowe funkcje w zakresie oceny i syntezy informacji przekazywanych przez monitoringi specjalistyczne.

Literatura:

- Kostrzewski A., 1986. Zastosowanie teorii funkcjonowania geosystemu do badań współczesnych środowisk morfogenetycznych obszarów nizinnych Polski Północno-Zachodniej. Sprawozdania PTPN nr 103, 1984, Poznań.
- Kostrzewski A., 1993. Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. [w] Kostrzewski A., (red.), Geoekosystem obszarów nizinnych. Ossolineum, Wrocław, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Z. Nauk., 6, s.11-17.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kostrzewski A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kostrzewski A., Kruszyk R., (red.) 2007. Stan, przemiany i funkcjonowanie geoekosystemów Polski w latach 1994-2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.
- IOŚ 2000. Stan środowiska w Polsce. Raport wskaźnikowy. Warszawa.

Dr Robert Kruszyk

Instytut Geoekologii i Geoinformacji
Uniwersytet im. A. Mickiewicza
Dzięgielowa 27 Poznań
rlk@amu.edu.pl

WPROWADZENIE

Stan geoekosystemów Polski stanowi coroczne sprawozdanie z realizacji badań prowadzonych w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na ośmiu Stacjach Bazowych.

Zgodnie z przyjętymi założeniami przedmiotem badań ZMŚP jest przestrzeń przyrodnicza, która składa się z podsystemów: atmosfera, biosfera, pedosfera, litosfera, hydrosfera i antroposfera. Jednostką przestrzenną, która umożliwia całościowe ujęcie przepływu energii i obiegu materii jest zlewnia rzeczna, względnie jeziorna (Kostrzewski, Mazurek, Stach 1995). Program pomiarowy ZMŚP podporządkowany jest kompleksowemu ujęciu funkcjonowania środowiska przyrodniczego i realizowany jest w trzech aspektach:

- bilansu energii i materii w układzie zlewni rzecznej (jeziornej),
- przepływu materii w profilu: atmosfera – roślinność – gleba,
- monitoringu (bioindykacji) wybranych biologicznych elementów geoekosystemu.

Prezentowane wyniki badań oparte są na rocznych raportach Stacji Bazowych ZMŚP (Kijowska, Bochenek 2010, Jóźwiak i in. 2010, Kejna i in. 2010, Kostrzewski i in. 2010, Krzysztofiak i in. 2010, Śnieżek i in. 2010, Olszewski i in. 2010). W opracowaniu wykorzystano również dane pomiarowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych programu ZMŚP.

Raport obejmuje: charakterystykę warunków hydrometeorologicznych, obieg materii w ujęciu zlewni rzecznej i w układzie pionowym: atmosfera – roślinność – gleba. W części tej zostały również przedstawione wyniki badań programów biotycznych opartych na wykorzystaniu bioindykatorów.

W podsumowaniu zawarto najważniejsze informacje o funkcjonowaniu wybranych geoekosystemów Polski w roku 2009, które obejmują kierunki zmian i ich charakter oraz ocenę stanu środowiska przyrodniczego.

Podstawowym obiektem badań w podsystemie ZMŚP jest zlewnia rzeczna (jeziorna), w zasięgu, której zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze, ujmujące możliwie różne typy geoekosystemów badanego krajobrazu. Szeroki zakres komplementarnych badań stacjonarnych prowadzony jest wg standaryzowanych metod w obrębie 8 Stacji Bazowych (ryc. 1) w reprezentatywnych zlewniach rzecznych i/lub jeziornych. Funkcjonujący obecnie

system pomiarowy Stacji Bazowych tworzy transekt południkowy, który ujmuje równoleżnikowy układ krajobrazów Polski. Wśród zlewni badawczych ZMŚP są zlewnie: górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo), Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry) i Jeziora Łękuk (Stacja Bazowa Puszcza Borecka), Jeziora Gardno (Stacja Bazowa Biała Góra) które stanowią nizinne, geoeosystemy młodoglacjalne w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie. Zlewnia górnej Parsęty (ryc. 1) położona jest w obrębie Pomorza Środkowego, w mezoregionie Pojezierza Drawskiego. Można ją uznać za reprezentatywną dla obszarów młodoglacjalnych umiarkowanej strefy klimatycznej, która pozostaje jeszcze obszarem stosunkowo mało szkodliwych zmian środowiska przyrodniczego.



Ryc. 1. Lokalizacja Stacji Bazowych
Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.

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

Tab. 1. Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych.

Zlewnia	Powierzchnia [km²]	Zlewnia - dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Parsęta	74,0	Morze Bałtyckie	Pojezierze Drawskie	Pojezierze
Młyński Potok	3,9	Parsęta		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

Zlewnia badawcza Stacji Bazowej Wigry zajmuje obszar należący do przyrzecza Czarnej Hańczy, w krajobrazie o wykształceniu, którego 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 in. 1998).

Zlewnia Jeziora Gardno reprezentuje geosystem nadmorski położony na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. O indywidualności położenia badanej zlewni decyduje jej nadmorskie położenie, w bezpośrednim sąsiedztwie wybrzeża klifowego, bezodpływowość oraz jej pełne zalesienie głównie drzewostanem bukowym. Zlewnia Jeziora Gardno w niewielkim stopniu podlega antropopresji.

Zlewnia Strugi Toruńskiej w Stacji Bazowej Koniczynka reprezentuje młodoglacjalny geosystem przeobrażony rolniczo, ciągle narażony na obszarowe zanieczyszczenia rolnicze, zanieczyszczenia powietrza z pobliskich szlaków komunikacyjnych oraz emitowane 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 i in. 1998).

W Stacji Bazowej Pożary, badana zlewnia Kanału Olszowieckiego położona jest w pasie rzeźby staroglacjalnej Puszczy Kampinoskiej, zajęta przez geoelement 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).

Stacja Bazowa Św. Krzyż obejmuje badaniami zlewnię leśno-rolniczą I rzędu 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 (Kowalkowski, Jóźwiak 2000).

Stacja Bazowa Szymbark zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoelement Karpat Fliszowych, który narażony jest na zanieczyszczenia transgraniczne ze Słowacji, a w mniejszym stopniu obecnie z Gorlic (Gil i Bochenek, 1998). Monitoring w Stacji uwzględnia specyfikę wynikającą z piętrowości występowania i natężenia procesów oraz zjawisk przyrodniczych w górach, a są to m.in. ruchy osuwiskowe i obieg wody generujący denudację chemiczną i erozję gleb. Ruchy masowe mają istotne znaczenie w kształtowaniu środowiska przyrodniczego Karpat, a zarazem stanowią duże zagrożenie dla działalności gospodarczej.

WARUNKI HYDROMETEOROLOGICZNE

Warunki pogodowe

W roku hydrologicznym 2009 na wszystkich Stacjach Bazowych prowadzono obserwacje meteorologiczne w oparciu o automatyczne stacje firmy Vaisala, uzupełnione o manualne obserwacje zgodne ze standardami IMGW.

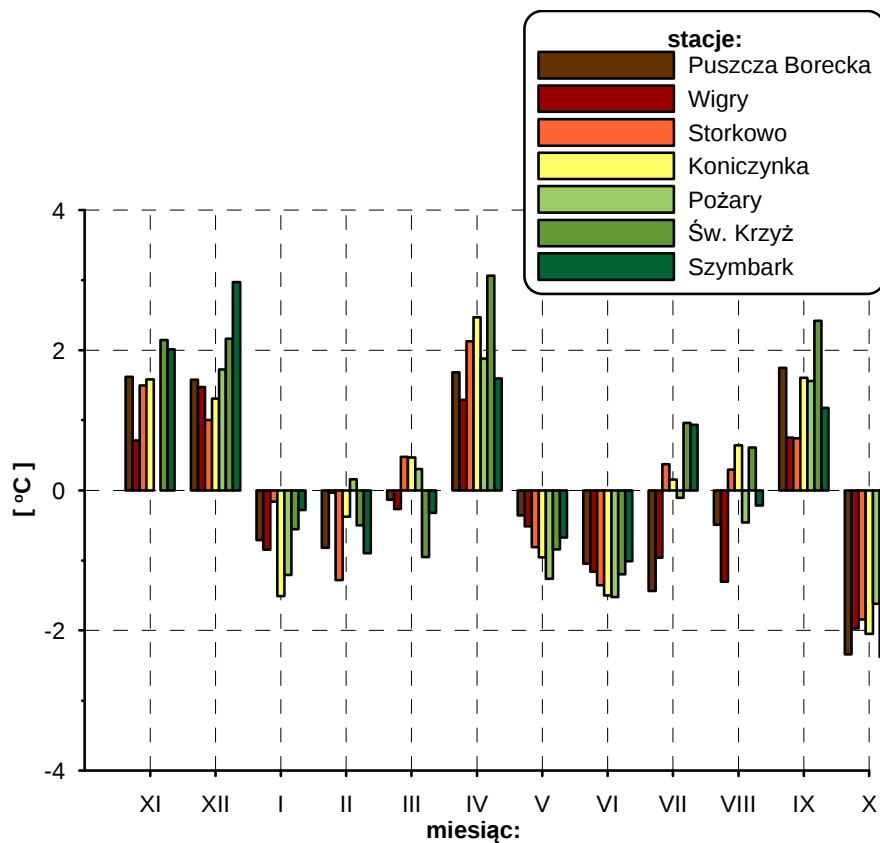
Zgodnie z przyjętą klasyfikacją termiczną opadową rok hydrologiczny 2009 na poszczególnych stacjach zaklasyfikowano, jako:

- Puszcza Borecka – normalny pod względem termicznym (7,2°C) i opadowym (698,9mm),
- Biała Góra – średnia roczna temperatura roku hydrologicznego wyniosła 9,2 °C, natomiast suma roczna opadów 558,7mm,
- Wigry – normalny zarówno pod względem średniej rocznej temperatury powietrza (6,3°C) i sumy rocznej opadów (632,6mm),
- Storkowo normalny zarówno pod względem termicznym (średnia roczna temperatura 7,9 °C) i opadowym (suma roczna 748,0mm),
- Koniczynka – normalny pod względem warunków termicznych (7,2°C) i normalnym pod względem opadów atmosferycznych (699mm),
- Pożary – lekko ciepły (8,7°C) i wilgotny (619,1mm),
- Święty Krzyż – lekko ciepły (7,7°C) i wilgotny pod względem sumy rocznej opadów (835,2mm),
- Szymbark – normalny pod względem termicznym (8,7°C) i normalny pod względem sumy rocznej opadów atmosferycznych (925,7mm).

Porównując warunki termiczne w roku hydrologicznym 2009 na tle wartości z wielolecia¹ różnice in plus na wszystkich Stacjach Bazowych odnotowano na początku roku (miesiące: listopad, grudzień) oraz w kwietniu i wrześniu (ryc. 2). W tym okresie średnie miesięczne temperatury powietrza były wyższe od wartości z wielolecia o ponad 3 stopnie. Miesiącem, w którym temperatura średnia miesięczna była zdecydowanie niższa od wartości z wielolecia okazał się październik. Również niższe temperatury obserwowano w maju oraz w czerwcu. Różnice te jednak nie przekraczały 2°C. Rok hydrologiczny 2009 pod względem warunków termicznych dla większości stacji okazał się rokiem normalnym, nie odbiegającym znacząco od wartości przeciętnych. Analizując rozkład temperatury w skali całego roku hydrologicznego najcieplejszymi miesiącami okazały się lipiec i sierpień z średnimi

¹ Dla stacji Wigry okres wielolecia obejmuje lata 2002-2009, dla pozostałych stacji 1994 - 2009

miesięcznymi temperaturami powyżej 16°C, natomiast najniższe temperatury miesięczne odnotowano w styczniu.

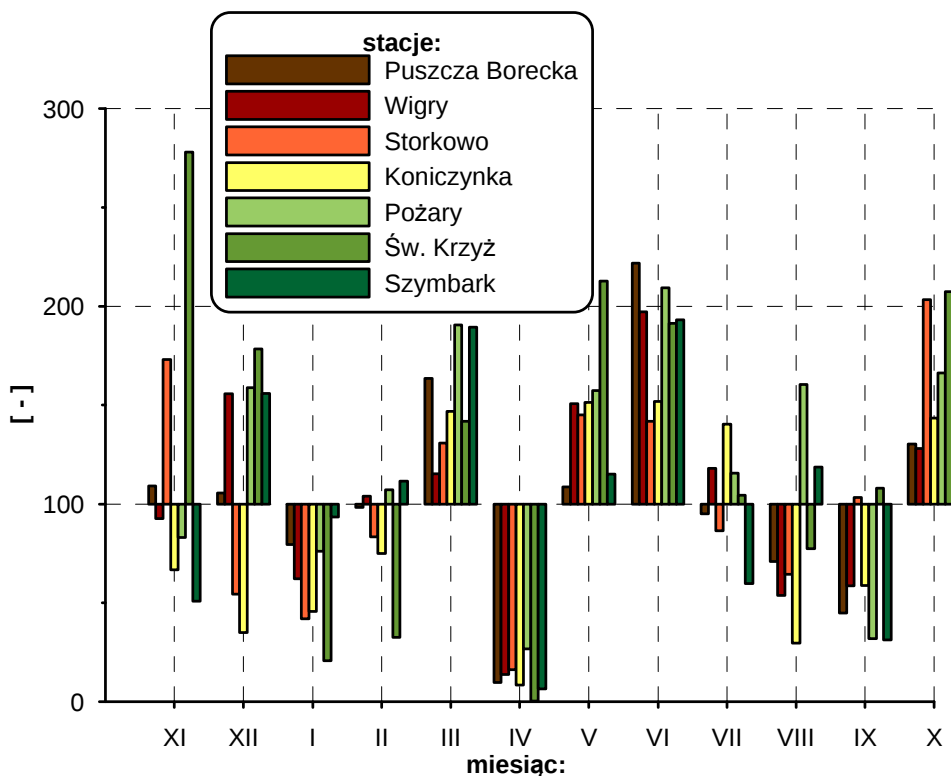


Ryc. 2. Rozkład różnic pomiędzy średnią miesięczną temperaturą powietrza w roku 2009 i wartością z wielolecia.

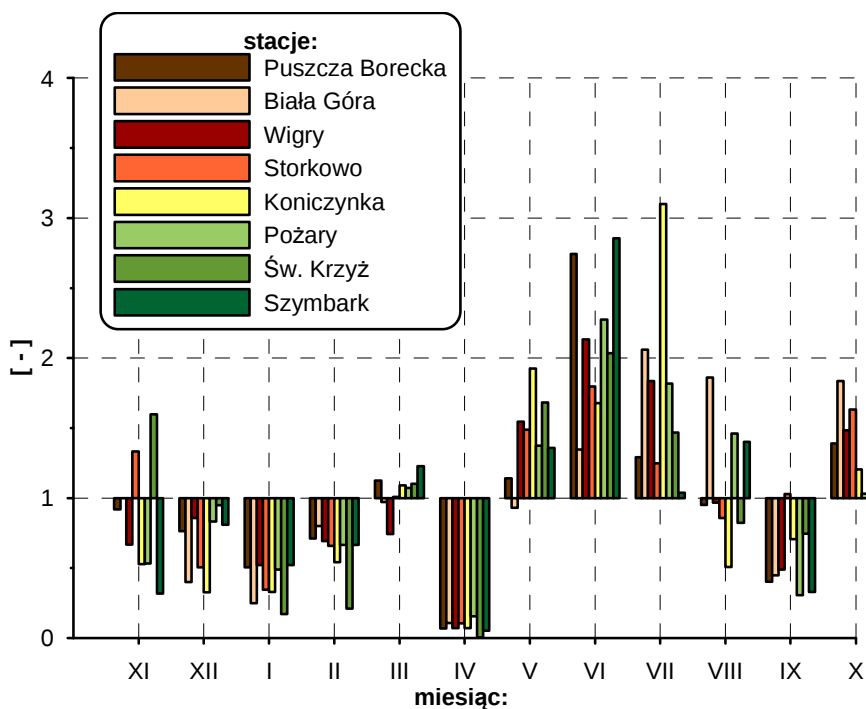
Tab. 2 Warunki termiczne w roku hydrologicznym 2009.

Stacja	Średnia roczna temp. powietrza	Temperatura maksymalna	Temperatura minimalna
Biała Góra	9,2	29,3	-6,9
Puszcza Borecka	7,2	29,1	-21,0
Wigry	6,3	29,2	-21,3
Storkowo	8,0	29,7	-14,5
Koniczynka	8,7	31,4	-18,2
Pożary	9,0	31,9	-25,6
Św. Krzyż	7,7	29,8	-15,2
Szymbark	8,7	29,3	-19,0

Rok hydrologiczny 2009 pod względem sumy rocznej opadów należał do okresu normalnego lub wilgotnego. Zestawienie sum miesięcznych odnotowanych w analizowanym roku na tle wartości z wielolecia¹ wskazuje znaczące różnice zarówno in plus i in minus (ryc. 3).



Ryc. 3. Rozkład sum miesięcznych opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009 jako procent sumy z wielolecia.



Ryc. 4. Rozkład współczynnika pluwiometrycznego w roku hydrologicznym 2009.

Tab. 3. Warunki opadowe w roku hydrologicznym 2009.

stacja	suma roczna	liczba dni z opadem	max opad dobowy	Liczba dni z opadem śniegu
Biała Góra	558,7	130	30,6 (VIII)	21
Puszcza Borecka	699,0	172	37,5 (VI)	51
Wigry	632,6	181	34,8 (V)	brak danych
Storkowo	748,0	184	29,9 (IX)	brak danych
Koniczynka	500,2	201	38,7 (VII)	brak danych
Požary	619,1	204	34,7 (VI)	22
Św. Krzyż	746,6	110	35,8 (VI)	brak danych
Szymbark	925,7	222	56,7 (VI)	brak danych

Miesiącem, który charakteryzował się największym deficytem opadów był kwiecień, w którym suma miesięczna stanowiła od 0,4 (Święty Krzyż) do 27% (Pożary) wartości z wielolecia¹ (ryc. 3) .

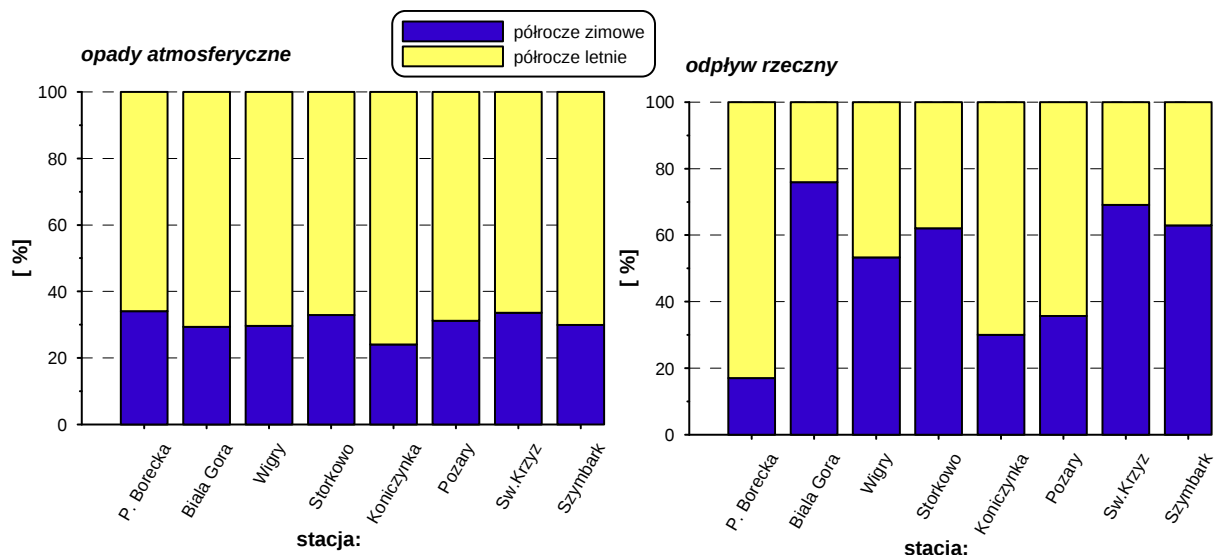
Niższe wartości opadów atmosferycznych obserwowano również w styczniu, sierpniu oraz we wrześniu. Miesiącami, których sumy miesięczne opadów były wyższe od wartości z wielolecia należały: marzec, maj, czerwiec oraz październik. W przypadku stacji położonych na terenach górskich notowane wówczas sumy miesięczne przekraczały ponad dwukrotnie wartości przeciętne. Liczba dni z opadem w roku 2009 kształtowała się na poziomie od 130 (Biała Góra) do 222 (Szymbark). Dla stacji Koniczynka liczba dni z opadem w roku 2009 wyniosła 201 i była to wartość najwyższa w okresie prowadzenia badań w latach 1994 – 2008. Rok 2009 charakteryzował się znaczącym zróżnicowaniem sum miesięcznych opadów. Analizując rozkład współczynnika pluwiometrycznego można wyróżnić dwa okresy: półrocze zimowe, w którym sumy miesięczne były niższe od 1/12 sumy rocznej oraz półrocze letnie o sumach miesięcznych zdecydowanie przewyższających wartość przeciętną – współczynnik pluwiometryczny większy od wartości 1 (ryc. 4). Maksymalne opadowe dobowe występowały w miesiącach letnich. Dla większości stacji były to czerwiec oraz lipiec. Największy opad dobowy zanotowano na stacji Szymbark w czerwcu i osiągnął on wartość 56,7mm (tab. 3).

Warunki anemometryczne w roku 2009 na terenie stacji Puszcza Borecka potwierdziły dominację wiatrów z sektora południowo-wschodniego i wschodniego. Mniejsze znaczenie w strukturze kierunków wiatru miał w roku 2009 sektor zachodni. Średnia roczna prędkość wiatru była zbliżona do wielkości przeciętnych. Największe prędkości wiatru obserwowano w maju oraz listopadzie; prędkości chwilowe nie przekraczały jednak

rekordowych wartości obserwowanych w latach ubiegłych. Na terenie stacja Biała Góra dominował sektor NW (28%) i SE (24%) w strukturze kierunków wiatrów. Najmniejszą frekwencją charakteryzował się sektor wschodni (3%). Średnia roczna prędkość wiatru wyniosła 3,3m/s. Na obszarze zlewni Czarnej Hańczy (stacja Wigry) średnia roczna prędkość wiatru wyniosła 1,7m/s. Rok hydrologiczny 2009 na obszarze zlewni Strugi Toruńskiej charakteryzował się mniejszą dynamiką atmosfery na tle wartości z wielolecia. Średnia roczna prędkość wiatru wyniosła 3,2m/s i była mniejsza o 0,1m/s od wartości z wielolecia. Największą częstością w strukturze kierunków wiatru charakteryzował się sektor SW i W, które łącznie stanowiły 34,4% wszystkich obserwacji, natomiast najrzadziej występowały wiatry z kierunku S (7,8%) i NW (8,2%). Sektor zachodni był kierunkiem dominującym dla wiatrów obserwowanych na terenie stacji Pożary i stanowił on 17% wszystkich obserwacji. Najmniejszą frekwencją charakteryzował się kierunek południowy (4%). Odminną strukturą wiatrów charakteryzował się analizowany rok na terenie stacji Święty Krzyż. W porównaniu do wartości z wielolecia znaczącym udziałem odznaczał się sektor ENE (9,0%) oraz E (8,2%). Najmniejszą częstością wyróżnił się sektor NNW (3,3%), który dotychczas należał do jednego z kierunków dominujących. Średnia roczna prędkość wiatru wyniosła 3,6m/s, przy prędkościach maksymalnych przypadających na listopad. Sektor północnozachodni był dominującym kierunkiem wiatru obserwowanym na terenie stacji Szymbark. Średnia roczna prędkość wiatru na tym obszarze kształtowała się na poziomie 1,8m/s.

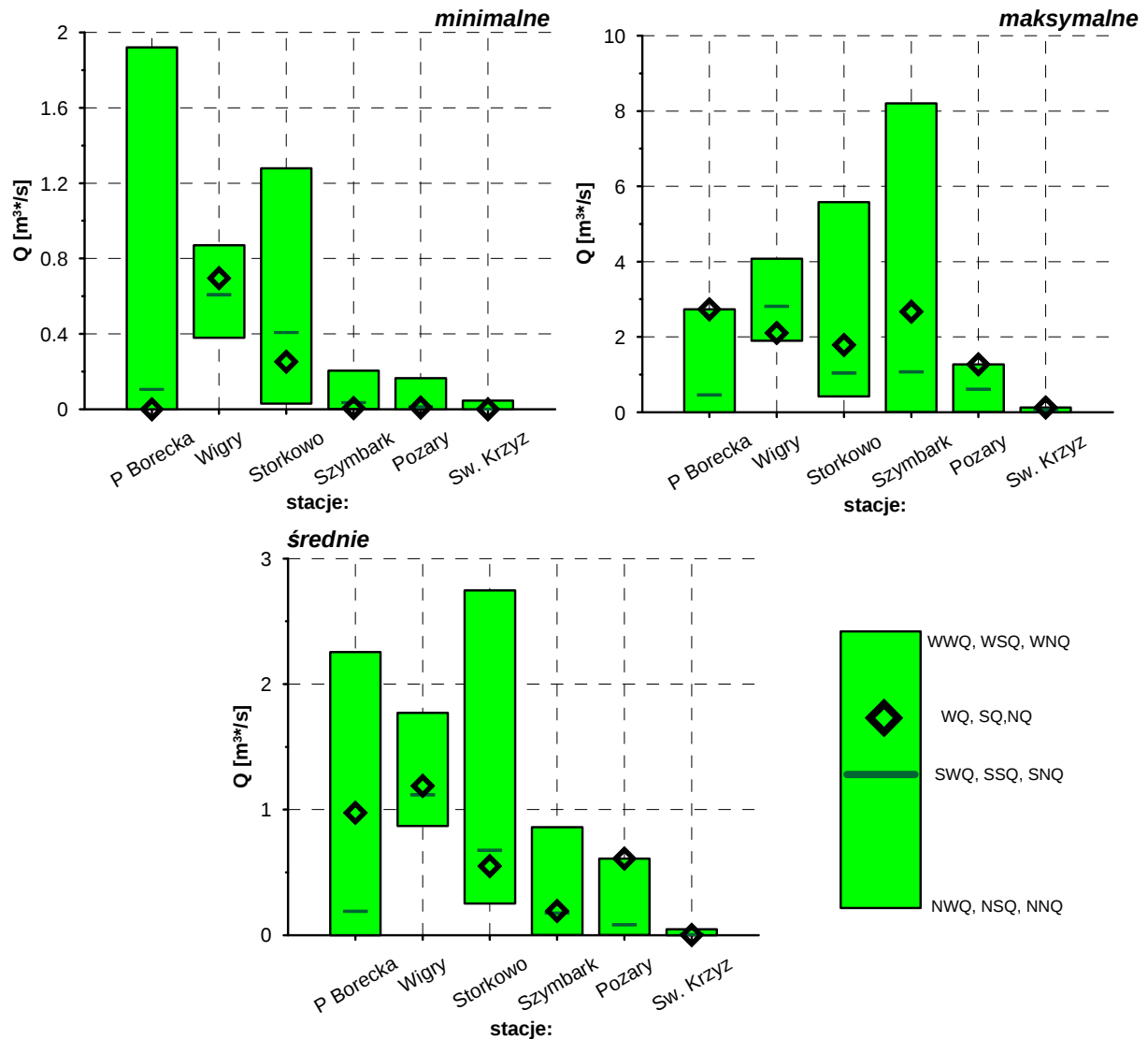
Warunki hydrologiczne

Zestawienie wartości sum opadów atmosferycznych w okresie półrocza zimowego i letniego na tle wartości odpływu dla tych dwóch okresów roku hydrologicznego 2009 wskazuje na dominację odpływu w półroczu zimowym, przy jednoczesnej przewadze opadów w półroczu letnim (ryc. 5). Prawidłowość ta nie występuje w przypadku dwóch stacji: Puszczy Boreckiej i Pożary.



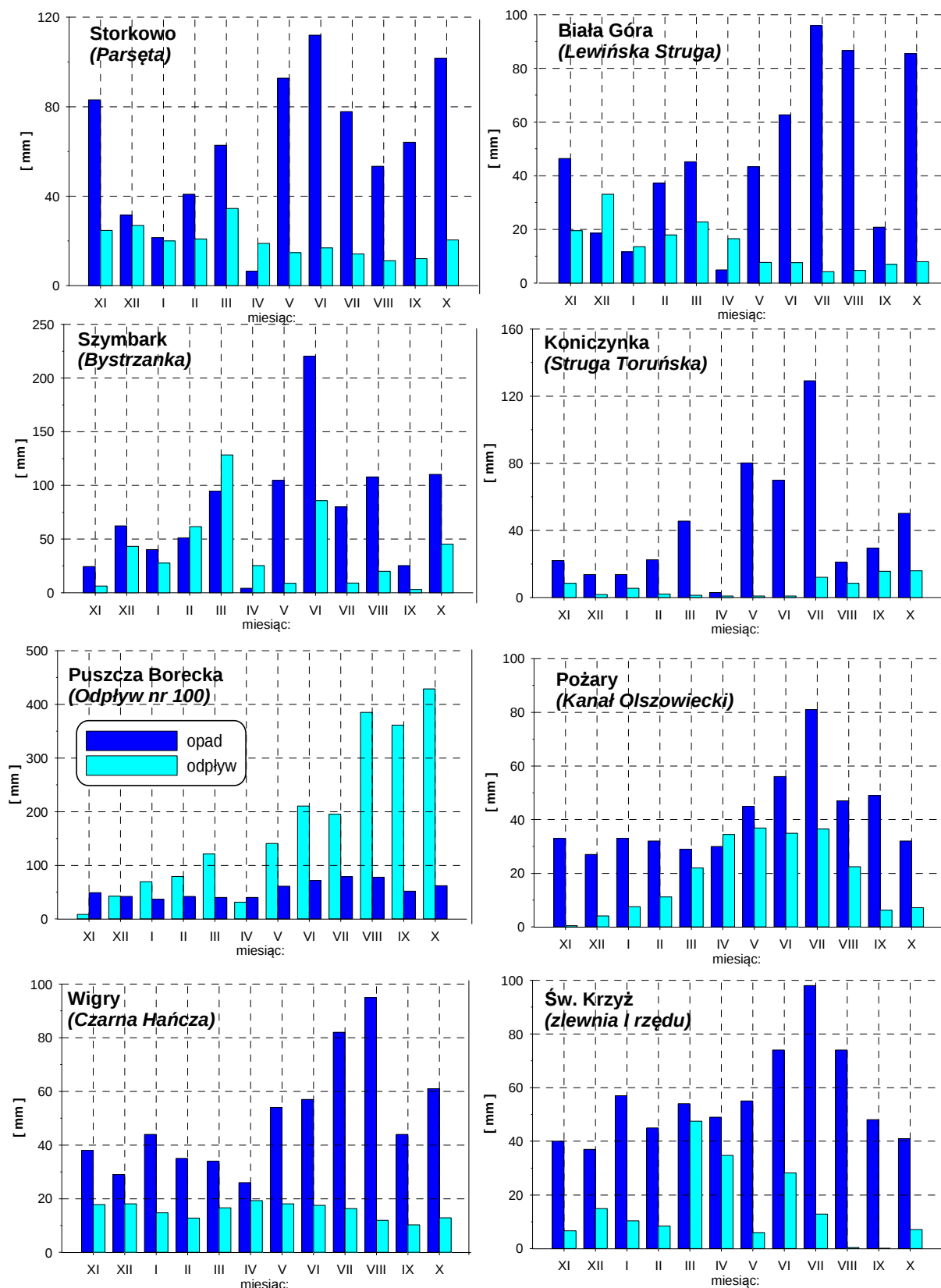
Ryc. 5 Udział opadów atmosferycznych i odpływu rzecznej w półroczu zimowym i letnim w roku hydrologicznym 2009.

Analizując wartości przepływów charakterystycznych I stopnia w przypadku większości stacji uzyskane wartości są zbliżone do przepływów charakterystycznych II stopnia (ryc. 6). Prawidłowość ta zaznacza się zarówno w przypadku wartości średnich, maksymalnych i minimalnych. Wyjątkiem są dwie stacje: Puszcza Borecka i Pożary w przypadku których, uzyskane wartości należały do wartości ponadprzeciętnych. Wysokie wartości odpływu są związane z działalnością bobrów na obszarze tych zlewni. Rozkład miesięcznego odpływu na tle sum opadów potwierdza przewagę odpływu w półroczu zimowym (ryc. 7). W roku hydrologicznym 2009 odnotowano sytuację, kiedy miesięczny odpływ przewyższał sumę opadów atmosferycznych. Sytuacja taka wystąpiła w przypadku większości stacji i miała miejsce w kwietniu, w miesiącu w którym suma miesięczna opadów była zdecydowanie niższa od przeciętnej.



Ryc. 6. Wartości przepływów głównych I i II stopnia dla wybranych stacji bazowych.

W zlewni Jeziora Łękek w roku hydrologicznym 2009 zanotowana rekordowa przepływy, których przyczyną nie były opady atmosferyczne, ale działalność licznie występujących na tym terenie bobrów i prób likwidowania zbudowanych tam (Śnieżek i in. 2010). Największe wartości odpływu w skali roku występowały w półroczu letnim, co stanowiło 83% całego odpływu rocznego. W analizowanym roku na terenie zlewni Jeziora Łękek obserwowano szczególnie dużą zmienność dobową odpływu wód z jeziora – od wartości nieprzekraczających $0,5\text{m}^3/\text{s}$ w pierwszej połowie roku do rekordowych w wieloleciu, przekraczających $2,5\text{m}^3/\text{s}$ w drugiej połowie roku. Znaczne zróżnicowanie opadów w badanym okresie przyczyniło się do dużej zmienności współczynnika odpływu, którego wartość w skali roku kształtowała się na poziomie 300% i była rekordową w okresie prowadzenia badań.

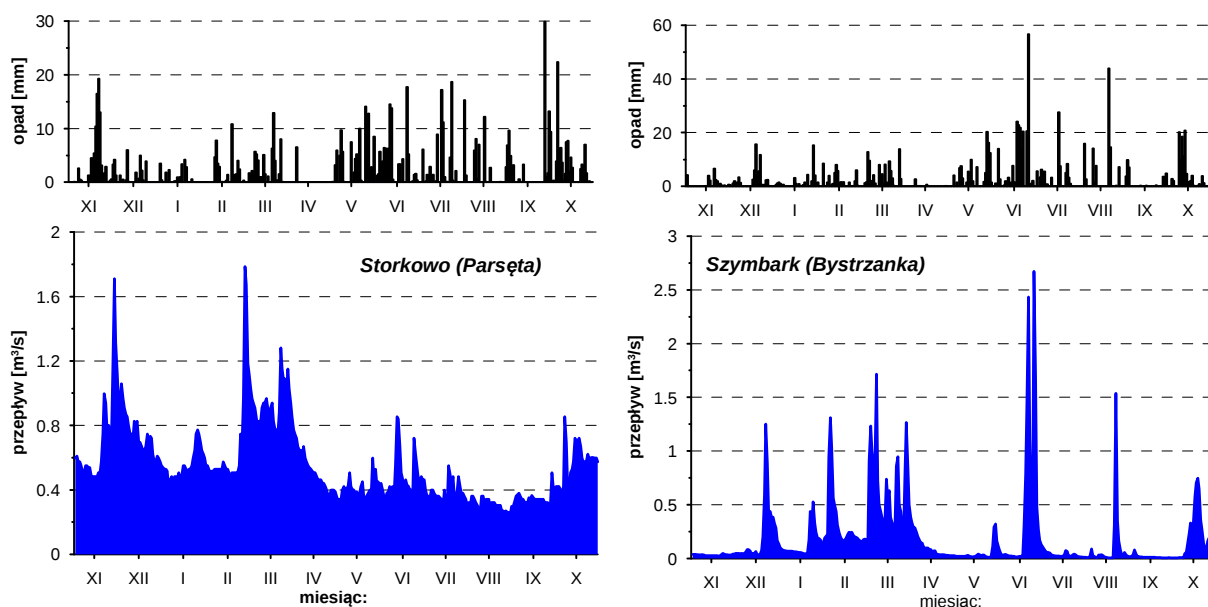


Ryc. 7. Rozkład miesięcznych wartości odpływu rzecznej na tle opadów atmosferycznych.

W roku hydrologicznym 2009 średni roczny przepływ w profilu Sobolewo na Czarnej Hańczy przekroczył wartość średnią z wielolecia. W badanym okresie wezbrania na Czarnej Hańczy

występowały zarówno w okresie półrocza zimowego (listopad, grudzień oraz marzec), ale również w miesiącach letnich: maj, czerwiec i lipiec. Najwyższe wezbranie zanotowano 7 lipca ($2,106\text{m}^3/\text{s}$). Okresy niskich stanów wody w korycie obserwowano w półroczu letnim i były one związane z niskimi sumami opadów i wysokimi temperaturami powietrza (Krzysztofiak i in. 2010). W skali całego roku hydrologicznego odpływ w półroczu zimowym był nieznacznie większy od obserwowanego w pozostałej części roku. Odpływ jednostkowy dla całego roku hydrologicznego wyniósł $6,3\text{l/s/km}^2$ i była to wartość niższa niż w roku 2008. Współczynnik odpływu dla Czarnej Hańczy (Sobolewo) kształtował się na poziomie 0,30, przy występowaniu dużych różnicach pomiędzy półroczem zimowym i letnim (tab. 4), (ryc. 7).

Górna Parsęta wraz z jej lewobrzeżnym dopływem Młyńskim Potokiem odznacza się wyrównanym reżimem hydrologicznym, który przejawia się zasilaniem gruntowo-deszczowo-śnieżnym i wiosennym okresem wezbraniowym (Dynowska 1971). Typowe dla górnej Parsęty są: obserwowane zazwyczaj wyższe przepływy w półroczu zimowym niż w półroczu letnim, wysoka retencja i dominacja zasilania gruntowego (Kostrzewski, Mazurek, Zwoliński 1994).



Ryc. 8. Rozkład dobowych przepływów na tle opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.

Zarówno w górnej Parsęcie jak i w Młyńskim Potoku zaobserwowano w 2009 roku dominację zasilania gruntowego, które występowało głównie w ciepłym półroczu. W okresie zimowo-wczesnowiosennym nastąpiła wzmożona dostawa wód roztopowych i opadowych do koryt rzecznych.

Średni przepływ dla Parsęty (punkt zamykający Storkowo) w roku 2009 wyniósł $0,551\text{m}^3/\text{s}$ i była to wartość niższa od średniej z wielolecia ($SSQ = 0,677\text{m}^3/\text{s}$). Najwyższe przepływy notowano w półroczu zimowym w dwóch okresach: listopad-grudzień oraz luty-marzec (ryc.

8). Wysokie stany w tym czasie to przede wszystkim efekt roztopów przy mniejszym udziale w tej części roku opadów atmosferycznych. Okres niskich stanów w badanym okresie wystąpił w lipcu oraz sierpniu i był związany z występowaniem w tym okresie wysokich temperatur powietrza przy przeciętnych sumach opadów atmosferycznych.

Wartość współczynnika odpływu dla górnej Parsęty w roku hydrologicznym 2009 kształtował się na poziomie 0,31. Udział odpływu rzecznego w relacji do opadów atmosferycznych był największy w kwietniu (2,90). Wysoka wartość współczynnika w tym okresie jest związana z skrajnie niską sumą miesięczną opadów atmosferycznych, która dla kwietnia wyniosła 6,5mm. W półroczu letnim stosunek odpływu do opadu był równy 0,18 natomiast w okresie zimowym 0,59.

Tab. 4. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych, warstwy odpływu i wartości współczynnika odpływu.

miesiąc	P Borecka (Odpływ 100)			Wigry (Czarna Hańcza)			Storkowo (Parsęta)		
	opad	odpływ	współczynnik odpływu	opad	odpływ	współczynnik odpływu	opad	odpływ	współczynnik odpływu
	mm	mm	-	mm	mm	-	mm	mm	-
XI	53.5	8.4	0.16	35.2	17.8	0.51	83.1	24.71	0.30
XII	44.4	42.3	0.95	45.2	18.1	0.40	31.5	26.91	0.85
I	29.4	69.3	2.36	27.4	14.7	0.54	21.4	19.95	0.93
II	41.3	79.4	1.92	36.4	12.8	0.35	40.9	20.85	0.51
III	65.4	121.2	1.85	39.2	16.6	0.42	62.8	34.5	0.55
IV	3.9	31.2	8.00	3.6	19.3	5.36	6.5	18.86	2.90
V	66.3	140.4	2.12	81.4	18.1	0.22	92.8	14.71	0.16
VI	159.7	210.3	1.32	112.4	17.5	0.16	112	16.85	0.15
VII	75.1	195.1	2.60	96.8	16.3	0.17	77.8	14.13	0.18
VIII	55.3	385	6.96	51	12	0.24	53.4	11.12	0.21
IX	23.3	361.1	15.50	25.8	10.3	0.40	64.1	12.09	0.19
X	80.8	428.5	5.30	78.2	12.9	0.16	101.7	20.39	0.20
rok	698.4	2072.2	2,97	632.6	186.4	0,27	748	235.07	0,31

Program wody powierzchniowy rzeki w stacji Biała Góra na wyspie Wolin realizowany był w zlewni Lewińskiej Strugi. Wartość współczynnika odpływu w skali całego roku kształtowała się na poziomie 0,29, przy wartościach skrajnych wynoszących: 0,04 (lipiec) i 3,37 (kwiecień). Analogicznie jak w przypadku pozostałych stacji dominował odpływ w półroczu zimowym, który stanowił ponad 75% wielkości odpływu rocznego.

W roku 2009 współczynnik odpływu ze zlewni reprezentatywnej Strugi Toruńskiej Pomiedzy przekrojem w profilu Lipowiec i przekrojem w profilu Koniczynka kształtował się na poziomie 0,15. Na podstawie uzyskanych danych można stwierdzić, że największe wartości przepływu w oby profilach wodowskazowych obserwowano wiosną podczas roztopów pokryw

śnieżnej. W porównaniu do wartości z wielolecia rok 2009 charakteryzował się zmniejszonym odpływem wody ze zlewni reprezentatywnej Strugi Toruńskiej.

Tabela 4 cd.

miesiąc	Koniczynka (Struga Toruńska)			Pożary (Kanał Olszowiecki)			Szymbark (Bystrzanka)		
	opad	odpływ	współczynnik odpływu	opad	odpływ	współczynnik odpływu	opad	odpływ	współczynnik odpływu
	mm	mm	-	mm	mm	-	mm	mm	-
XI	22	8,5	0,38	27.4	0.48	0.02	24.4	6.4	0.26
XII	13.6	1,8	0,13	42.9	4.09	0.10	62.4	43.2	0.69
I	13.7	5,5	0,40	25.1	7.60	0.30	40.2	27.6	0.69
II	22.5	2,0	0,08	34.3	11.19	0.33	51.3	61.6	1.20
III	45.5	1,3	0,03	55.3	21.99	0.40	94.7	128.4	1.36
IV	2.9	0,9	0,33	8	34.5	4.31	4.1	25.3	6.17
V	80.2	0,8	0,01	70.8	36.87	0.52	104.8	8.9	0.08
VI	69.9	0,9	0,01	117.3	34.98	0.30	220.2	85.9	0.39
VII	129.2	12,0	0,09	93.7	36.5	0.39	80.1	9	0.11
VIII	21.1	8,5	0,40	75.4	22.42	0.30	108	20.1	0.19
IX	29.4	15,6	0,52	15.7	6.26	0.40	25.3	3.1	0.12
X	50.2	15,9	0,31	53.2	7.16	0.13	110.2	45.3	0.41
rok	500.2	73,7	0,15	619.1	224.04	0,36	925.7	464.8	0,50

miesiąc	Święty Krzyż (zlewnia I rzędu, C6)			Biała Góra (Lewińska Struga)		
	opad	odpływ	współczynnik odpływu	opad	odpływ	współczynnik odpływu
	mm	mm	-	mm	mm	-
XI	111.2	6.6	0.06	46.4	19.5	0.42
XII	66	14.9	0.23	18.6	33.1	1.78
I	11.8	10.4	0.88	11.6	13.6	1.17
II	14.6	8.4	0.58	37.2	17.9	0.48
III	76.6	47.5	0.62	45.2	22.8	0.50
IV	0.2	34.8	174.00	4.9	16.5	3.37
V	117	6	0.05	43.3	7.7	0.18
VI	141.6	28.2	0.20	62.7	7.6	0.12
VII	102.2	12.9	0.13	95.9	4.3	0.04
VIII	57.2	0.4	0.01	86.6	4.7	0.05
IX	51.8	0.1	0.00	20.8	6.9	0.33
X	85	7.1	0.08	85.5	8	0.09
rok	835.2	177.3	0,21	558.7	162.6	0,29

W zlewni Kanału Olszowieckiego (stacja Pożary) warunki odpływu powierzchniowego analogicznie jak w przypadku stacji Puszcza Borecka były kształtowane przez działalność bobrów na obszarze zlewni. Wskaźnik odpływu dla badanego roku kształtował się na poziomie 224,04mm co stanowiło 36% sumy rocznej opadów atmosferycznych. W porównaniu do roku 2008 była to wartość ponad dwukrotnie razy większa.

W ekosystemie leśnym na Świętym Krzyżu w profilu zamykającym zlewnię (C6) odpływ rzeczny wyniósł 177,3mm, co stanowiło 21% sumy rocznej opadów atmosferycznych. Najwyższe wartości odpływu odnotowano w marcu (47,5mm) oraz w kwietniu (34,8mm) i były one czasowo skorelowane z okresem roztopów. W okresie miesięcy letnich na wielkość odpływu z monitorowanej zlewni miało zjawisko pozyskiwania wody w celach nawadniania obszarów rolniczych (Józwiak i in. 2010). Zestawienie wartości odpływu rzeczego dla półrocza zimowego i letniego wskazuje na przewagę odpływu w pierwszym z okresów. W tym czasie z obszaru zlewni odpłynęło 95mm, co stanowiło 53,6% odpływu rocznego.

W zlewni Bystrzanki (Szymbark) roczny wskaźnik odpływu wyniósł 469,9mm i była to wartość najwyższa od 2001 roku. W skali całego roku wartości wskaźnika odpływu kształtowały się od 8,9 w maju do 128,4mm w marcu. Roczny współczynnik odpływu wyniósł 0,50, osiągając skrajnie wysoką wartość 6,16 w kwietniu za sprawą skrajnie niskiej sumy miesięcznej opadów atmosferycznej. Średni roczny przepływ SQ kształtował się na poziomie 0,191m³/s, przy wartości wieloletniej (SSQ) wynoszącej 0,176m³/s. Maksymalny chwilowy przepływ wyniósł 7,956m³/s i wystąpił 26 czerwca (ryc. 8). W podziale na półrocze zimowe i letnie wartość wskaźnika odpływu wyniosła odpowiednio: 292,5mm (63% rocznego odpływu) i 172,3mm (37%). Wyróżniającym się elementem, który kształtował wielkość odpływu ze zlewni Bystrzanki jest występowanie długotrwałych okresów zasilania gruntowego, szczególnie w półroczu letnim (Kijowska, Bochenek 2010).

DEPOZYCJA ATMOSFERYCZNA

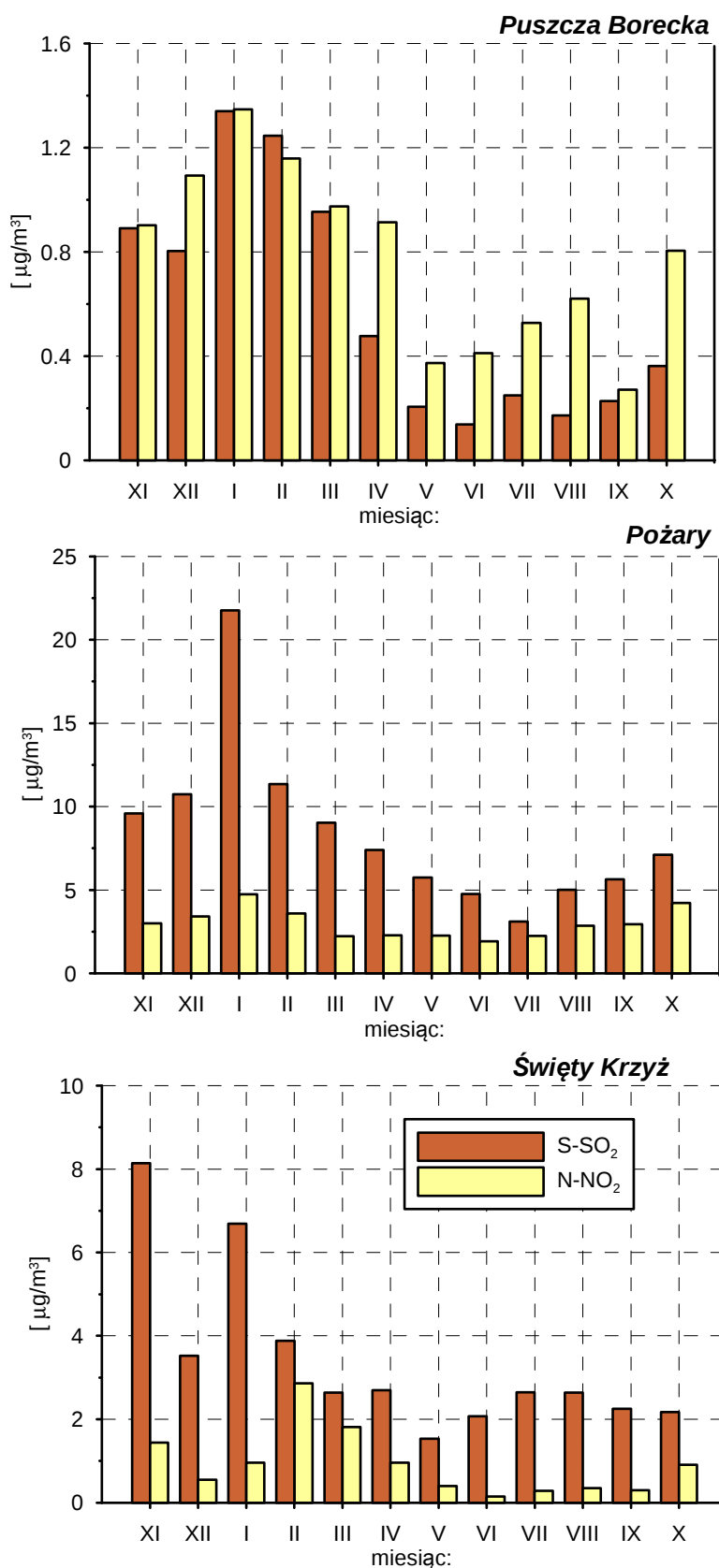
Do podstawowych czynników, które decydują o obiegu materii w geoeosystemie należy zaliczyć ilość i jakość depozycji atmosferycznej. Powietrze jest jednym z elementów środowiska przyrodniczego, które podlega silnej antropopresji. Zawarte w nim związki chemiczne wskutek opadania i osadzania są wchłaniane i akumulowane przez pozostałe komponenty środowiska przyrodniczego.

Zanieczyszczenie powietrza

W roku hydrologicznym 2009 monitoring zanieczyszczenia powietrza oparty był zarówno o wykorzystanie metod automatycznych i manualnych (Puszcza Borecka, Storkowo, Koniczynka, Pożary, Święty Krzyż) oraz metody pasywnej (Puszcza Borecka, Wigry, Koniczynka, Święty Krzyż, Szymbark). W ramach monitoringu zanieczyszczenia powietrza w zakresie podstawowym mierzone były stężenia dwutlenku siarki, dwutlenku azotu oraz ozonu.

Tab. 5. Zanieczyszczenie powietrza w roku hydrologicznym 2009 (metody manualne i automatyczne)– wybrane statystyki.

parametr	Puszcza Borecka	Pożary	Św. Krzyż
siarka w dwutlenku siarki			
średnia	0.58	8.22	3.52
minimum	0.03	0.90	0.69
maksimum	8.11	45.10	85.00
Odchylenie standardowe	0.80	6.07	5.20
liczność	365	351	331
azot w dwutlenku azotu			
średnia	0.78	3.01	0.91
minimum	0.03	0.55	0.00
maksimum	3.04	12.70	8.61
Odchylenie standardowe	0.44	1.65	1.12
liczność	364	353	362
ozon			
średnia	51.14	45.86	86.51
minimum	6.26	3.70	16.48
maksimum	106.48	99.60	177.75
Odchylenie standardowe	19.24	21.66	37.72
liczność	345	357	346



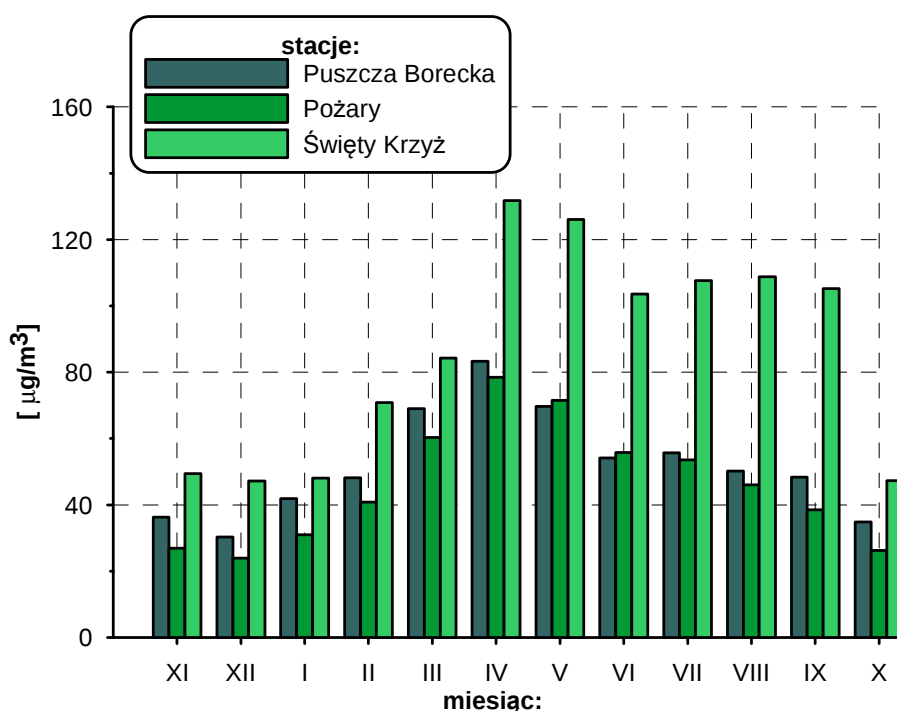
Ryc. 9. Rozkład średnich miesięcznych stężeń siarki w dwutlenku siarki i azotu w dwutlenku azotu (metody automatyczne i manualne) w roku hydrologicznym 2009.

Analizując rozkład stężeń siarki w dwutlenku siarki oraz azotu w dwutlenku azotu zaznacza się sezonową zmienność zawartości tych składników w powietrzu atmosferycznym.

Największe stężenia tych zanieczyszczeń w atmosferze są notowane w półroczu zimowym (ryc. 9). Najniższe wartości średnie roczne stężenia siarki w dwutlenku siarki w grupie trzech analizowanych stacji obserwowano na obszarze stacji Puszcza Borecka. Maksymalne miesięczne stężenie na tym terenie odnotowano w miesiącu styczniu i wyniosło ono $1,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wartość ta była ponad 30% wyższa niż w roku 2008 (Śnieżek i in. 2010). W przypadku rozkładu stężeń azotu w dwutlenku azotu najwyższe średnie miesięczne stężenie obserwowano również w styczniu i kształtowało się na poziomie $1,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W porównaniu do stacji Puszcza Borecka zdecydowanie większe stężenia omawianych zanieczyszczeń obserwowano zarówno na terenie stacji Pożary (Kampinoski Park Narodowy) oraz na Świętym Krzyżu. Dysproporcja ta jest szczególnie widoczna w przypadku siarki w dwutlenku siarki (tab. 5).

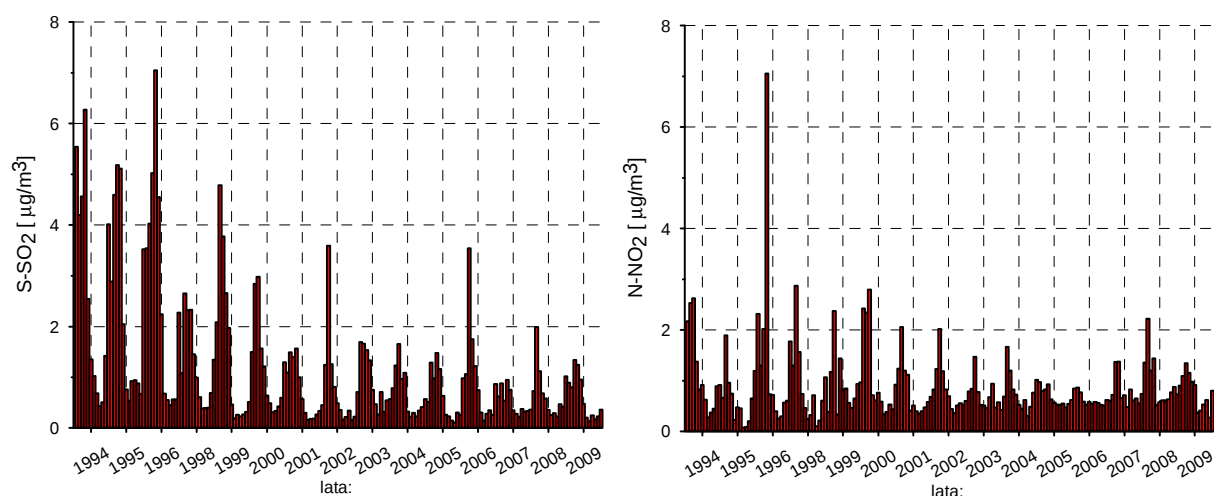
W roku 2009 najwyższe stężenia dwutlenku siarki na terenie stacji na Świętym Krzyżu obserwowano w okresie adwekcji mas powietrza z kierunku NNW (Jóźwiak i in. 2010). W przypadku azotu w dwutlenku azotu najwyższe stężenia przypadały na okres napływu mas powietrza z kierunku północnego. Uzyskane w roku 2009 wartości stężeń dwutlenku siarki i azotu odniesiono do wartości normowanych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 roku w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (DZ. U. Nr. 47 poz. 281), które określa dopuszczalne wartości stężeń wymienionych zanieczyszczeń dla dwóch kryteriów: ochrony roślin i ochrony zdrowia.

W przypadku trzech omawianych stacji w roku kalendarzowym 2009 obserwowane stężenia dwutlenku siarki i azotu nie przekroczyły wartości kryterialnych zarówno ze względu na ochronę zdrowia jak i roślin.



Ryc. 10. Rozkład średnich miesięcznych stężeń ozonu troposferycznego w roku hydrologicznym 2009.

Analizując rozkład stężeń ozonu troposferycznego dla trzech stacji zaznacza się typowy dla tego gazu rozkład w skali roku. Wartości maksymalne występują w miesiącach wiosennych, a nieco niższe latem. Dla wszystkich stacji największe wartości stężeń ozonu odnotowano w kwietniu (ryc. 10). Na terenie Puszczy Boreckiej średnie roczne stężenie ozonu troposferycznego kształtowało się na poziomie $51,5\mu\text{g}/\text{m}^3$, przy wartości maksymalnej wynoszącej $83\mu\text{g}/\text{m}^3$ (średnia miesięczna). Nieco niższą zawartość ozonu w powietrzu obserwowano na terenie stacji Pożary. Średnie roczne stężenie w skali roku hydrologicznego wyniosło $45,9\mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksymalne stężenie podobnie jak w przypadku Puszczy Boreckiej wystąpiło w kwietniu i wyniosło $78,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (wartość średnia miesięczna). Najwyższe stężenia ozonu odnotowano na Świętym Krzyżu. Średnie roczne stężenie tego gazu kształtowało się na poziomie $86,5\mu\text{g}/\text{m}^3$, osiągając wartość maksymalną w kwietniu $131,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ (średnie miesięczna). Występowaniu tak wysokich stężeń w tym okresie sprzyjało małe zachmurzenie, co sprzyjało inicjowaniu reakcji fotochemicznych odpowiedzialnych za powstawanie ozonu (Jóźwiak i in. 2010). Stężenia dobowe ozonu zawierały się w granicach od $14,9$ do $177,8\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Ryc. 11. Rozkład stężeń S-SO_2 N-NO_2 dla wielolecia 1994 - 2009. Stacja Puszcza Borecka

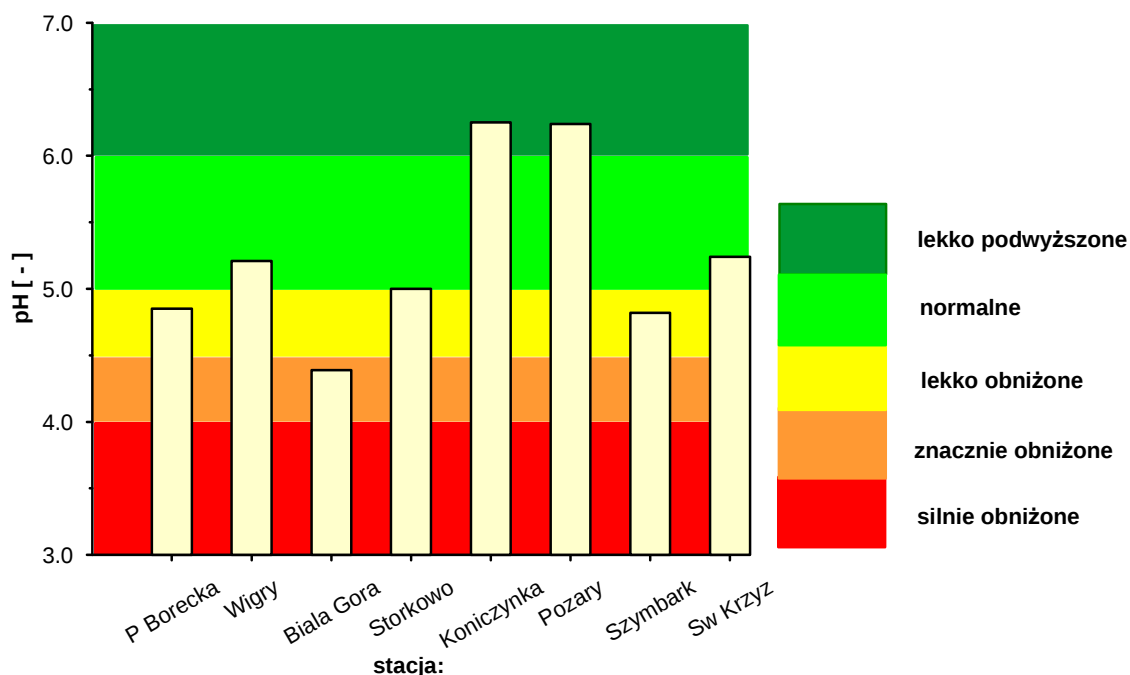
Notowane na stacjach stężenia dwutlenku siarki i azotu nie stanowią zagrożenia zarówno dla roślin i zdrowia ludzi. Inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku zawartości ozonu troposferycznego. W przypadku Puszczy Boreckiej i Pożar w badanym okresie nie zostały przekroczone wartości graniczne stężeń ozonu ustalone zarówno dla ochrony roślin jak i zdrowia ludzi. Odmienne wygląda sytuacja w przypadku stacji na Świętym Krzyżu. Obliczona wartość AOT40 dla okresu pięcioletniego wyniosła $31378,3\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$, przy wartości granicznej wynoszącej $18000\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$. Zestawienie wartości stężeń ozonu w powietrzu dla analizowanej stacji w ciągu ostatnich lata potwierdza pogorszenie się właściwości sanitarnych powietrza zarówno dla ochrony zdrowia ludzkiego oraz roślin. Odmienne

przedstawia się rozkład stężeń ozonu na terenie stacji Puszcza Borecka. Dostępne serie pomiarowe wskazują na malejąc trend stężeń tego gazu w ostatnich latach. Analiza dostępnych serii badawczych potwierdza, że w przypadku stacji Puszcza Borecka i Święty Krzyż zaznacza się wyraźny spadek stężenia dwutlenku siarki w powietrzu (ryc. 11). W przypadku dwutlenku azotu zaznacza się stabilność stężeń tego związku w powietrzu bez wyraźnych trendów w jego rozkładzie.

Zanieczyszczenie opadów atmosferycznych

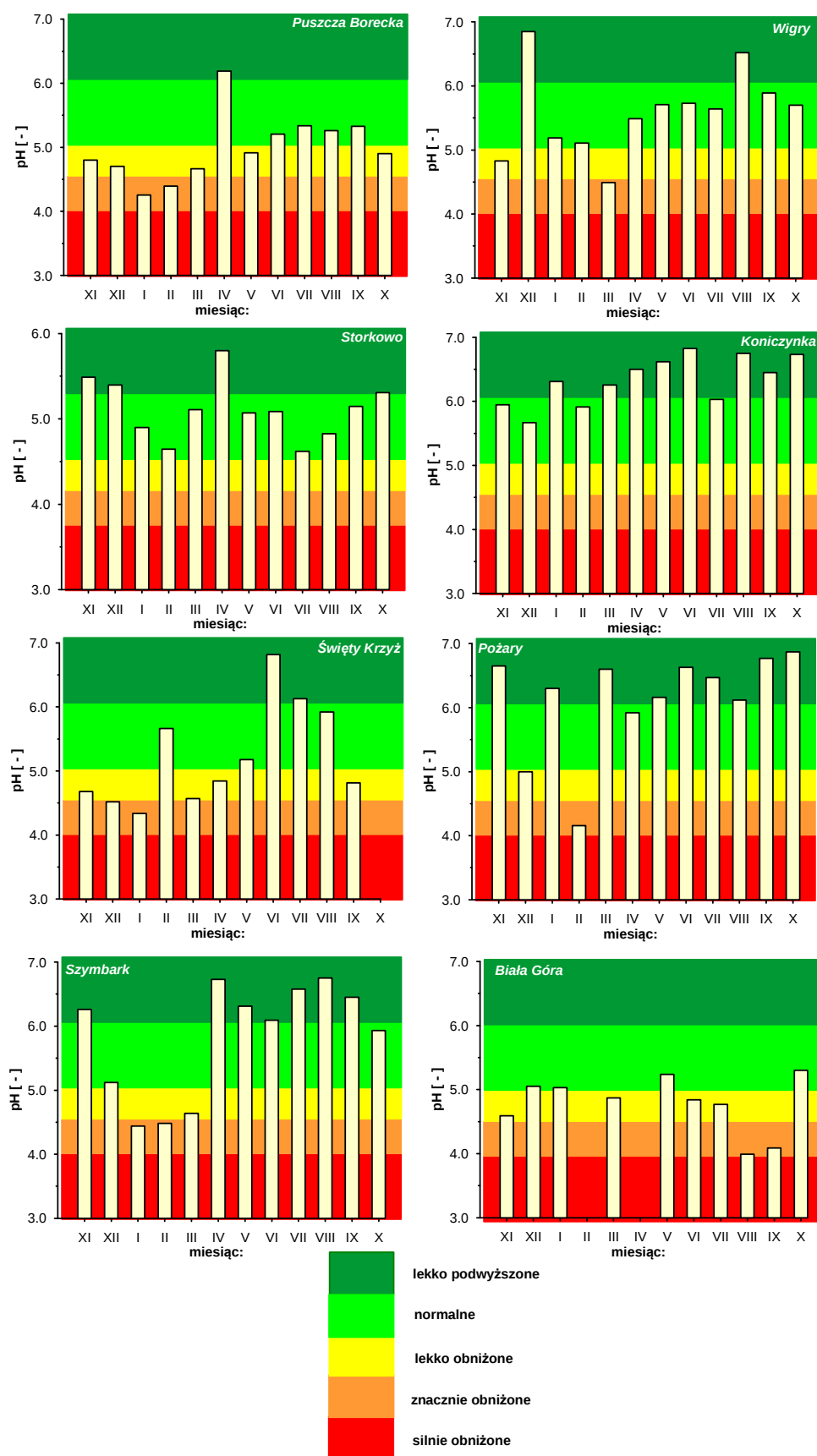
W roku hydrologicznym 2009 na wszystkich stacjach prowadzono monitoring chemizmu opadów atmosferycznych. Program ten wykonywano w oparciu o pomiar zarówno depozycji całkowitej (kolektory opadu ekspozowane całą dobę, niezależnie czy opad wystąpił czy też nie) oraz depozycji mokrej z wykorzystaniem kolektorów firmy Eigenbrodt.

Średnie ważone wartości pH pozwalają zaklasyfikować opady atmosferyczne do następujących klas: Puszcza Borecka (średnia roczne ważne pH = 4,85) pH lekko obniżone, Wigry (5,21) pH normalne, Storkowo (5,00) pH lekko obniżone, Koniczynka (6,25) pH normalne, Pożary (6,24) pH normalne, Święty Krzyż (5,24) pH normalne oraz Szymbark (4,82) pH lekko obniżone (ryc. 12).



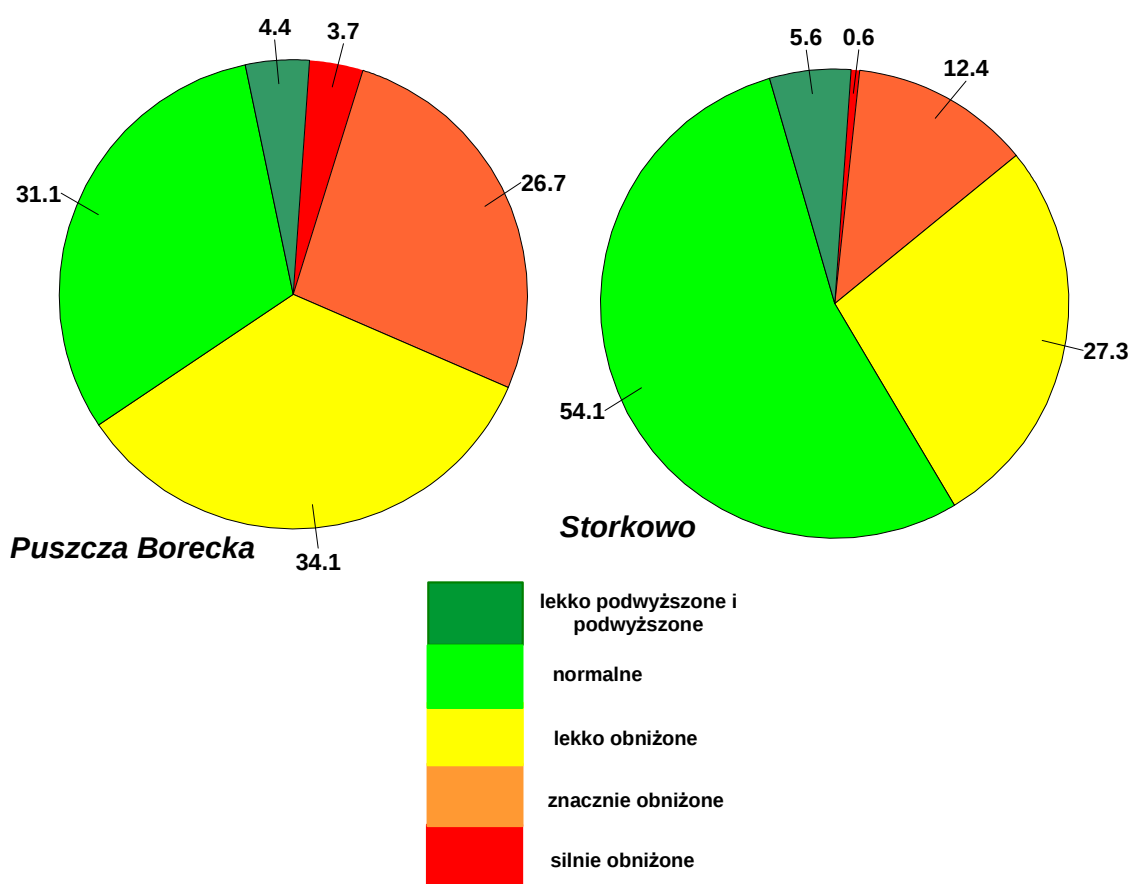
Ryc. 12. Średnie roczne wartości pH opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.

Analizując czasowy rozkład pH w przypadku wszystkich stacji zaznacza się wyraźna sezonowość (ryc. 13). Najniższe wartości pH wód opadowych przypadają na okres zimowy. Wzrost kwasowości opadów atmosferycznych w tym okresie roku jest efektem obecności zanieczyszczeń kwaśnych w powietrzu - związków siarki i azotu. Uwzględniając odczyn pojedynczych próbek wód opadowych na obszarze stacji Puszcza Borecka dominowały opady o pH z klasy lekko obniżonego i normalnego, które łącznie stanowiły ponad 60% wszystkich epizodów opadowych. Klasa opadów o pH silnie obniżonym ($\text{pH} < 4,1$) stanowiła 3,7% wszystkich próbek. Podobną frakcję stanowiły opady o pH lekko podwyższonym ($\text{pH} > 6,1$).



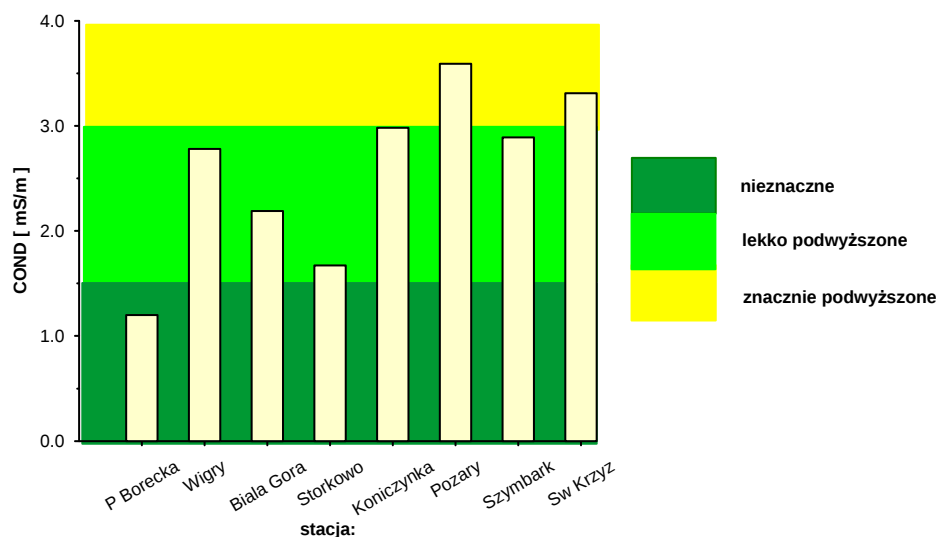
Ryc. 13. Rozkład miesięczny pH opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.

Podobna struktura pH opadów atmosferycznych występowała na stacji w Storkowie. Klasy opadów o pH lekko obniżonym i normalnym były klasami dominującymi i obejmowały łącznie ponad 80% z 162 próbek opadów (ryc. 14). Analogiczna struktura pH opadów wystąpiła w roku 2009 również na stacjach Pożary i Święty Krzyż. Opady o pH normalnym i lekko podwyższonym najczęściej występowały w stacji Koniczynka. Jest to również obszar, na którym w ciągu roku często notowano opady o pH większym od 7. Opady te stanowiły prawie 10% wszystkich epizodów opadowych. Analiza frekwencji pH mierzonego w dobowych próbach w stacji Szymbark wskazuje na wysoki udział opadów o pH znacznie obniżonym i silnie obniżonym. Łącznie klasy te stanowią ponad 20% wszystkich próbek opadów atmosferycznych.



Ryc. 14. Struktura pH opadów atmosferycznych – próbki dobowe.

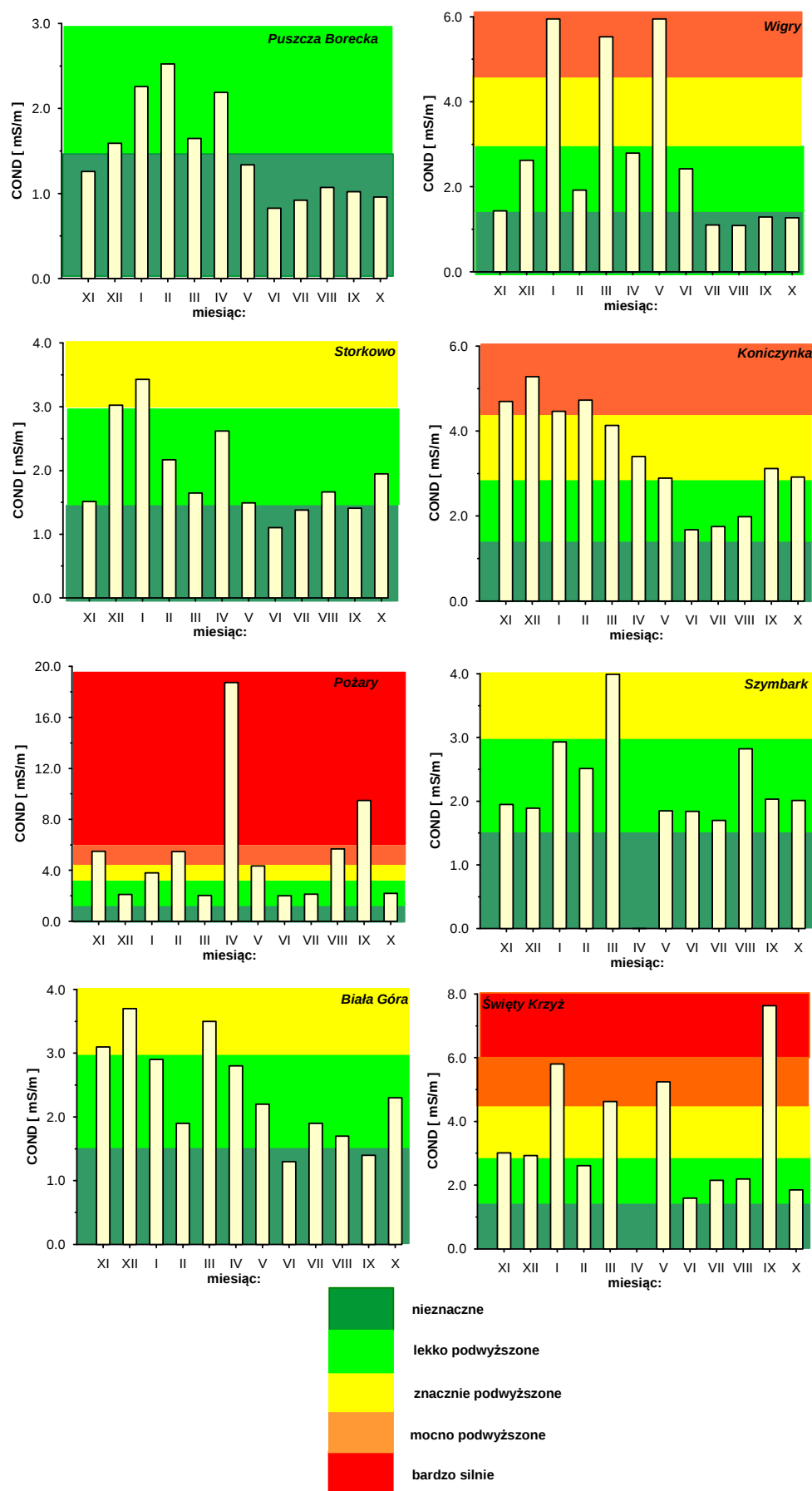
Wartości podane w %



Ryc. 15. Średnia roczna wartość przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.

Średnie roczna ważona wartość przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009 kształtowała się od wartości nieznaczących Puszcza Borecka (1,20mS/m), lekko podwyższonej Storkowo (1,67mS/m), Biała Góra (2,19mS/m), Wigry (2,78mS/m), Szymbark (2,89mS/m) do znacznie podwyższonej Święty Krzyż (3,31mS/m), Koniczynka (2,98mS/m), Pożary (3,59mS/m) (ryc. 15). W skali roku wartości najwyższe odnotowywano w półroczu chłodnym, co należy wiązać zarówno z większym poziomem zanieczyszczenia powietrza w tym okresie i mniejszymi sumami opadów atmosferycznych (ryc. 16). Najniższą mineralizację obserwowano w miesiącach letnich, zwłaszcza w okresie intensywnych opadów atmosferycznych. W skali całego roku hydrologicznego największą wartość przewodności elektrolitycznej odnotowano w stacji Pożary w kwietniu. Wówczas średnia miesięczna wartość przewodności elektrolitycznej wyniosła 18,74mS/m i była efektem skrajnie niskiej sumy miesięcznej opadów atmosferycznej w tym okresie na terenie stacji.

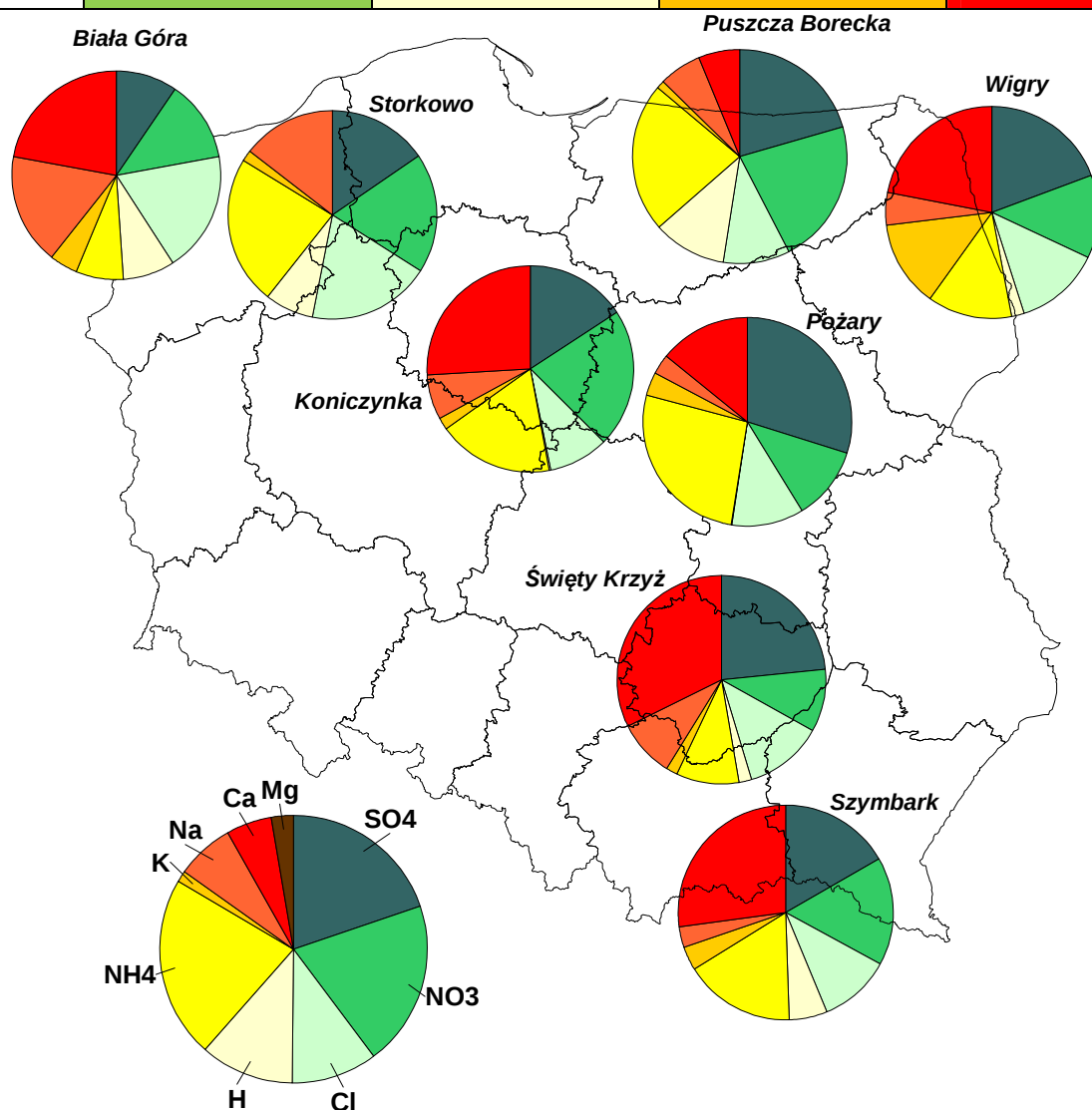
Zestawienie średnich rocznych stężeń wybranych jonów na tle klasyfikacji Jansena, Blocka i Knaacka (1988) wskazuje, że uzyskane poziomy pozwalają zaliczyć uzyskane wartości do klas stężeń nieznaczących i lekko podwyższonych (tab. 5). Wyjątek stanowi średnie roczne stężenie chlorków w opadach atmosferycznych w stacji Biała Góra (wyspa Wolin) oraz stężenie siarczanów w stacji Pożary. W pierwszym przypadku uzyskane średnie stężenie roczne chlorków ($3,12\text{mg/dm}^3$) zostało zaklasyfikowane jako wartość podwyższona. Znaczący poziom stężeń tych jonów w opadzie to konsekwencja położenia stacji w strefie wybrzeża Bałtyku i wpływ na skład chemicznych wód opadowych aerozoli morskich. Analizując stężenia wybranych jonów w opadach atmosferycznych w roku 2009 na tle klasyfikacji Jansena i in. w większości przypadkach tylko azotany i siarczany przekraczają poziom stężeń nieznaczących.



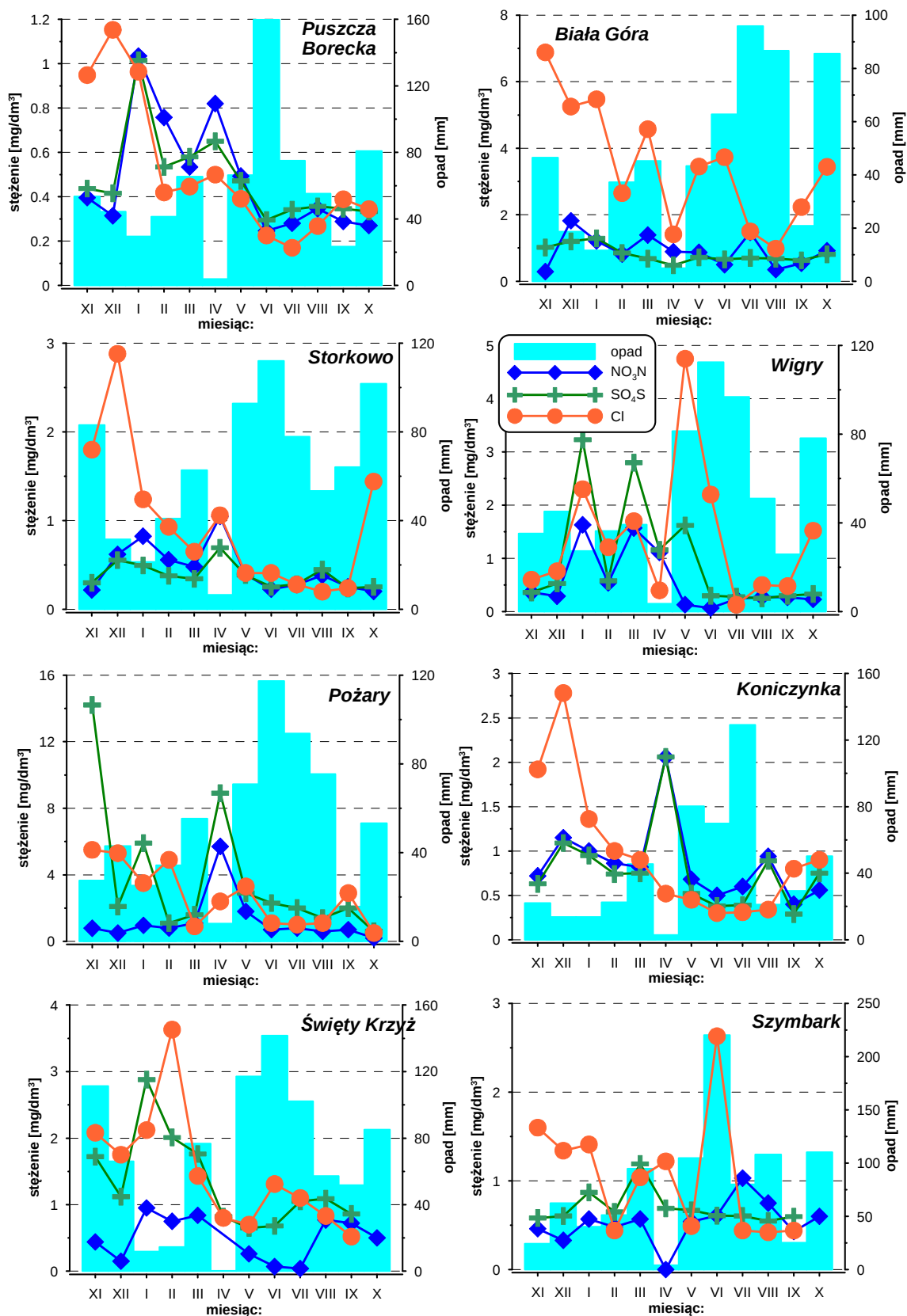
Ryc. 16. Rozkład miesięczny przewodności elektrolitycznej opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.

Tab. 5. Zestawienie stężeń wybranych jonów w opadzie atmosferycznym w roku hydrologicznym 2009 na tle klasyfikacji Jansena, Blocka i Knaacka.

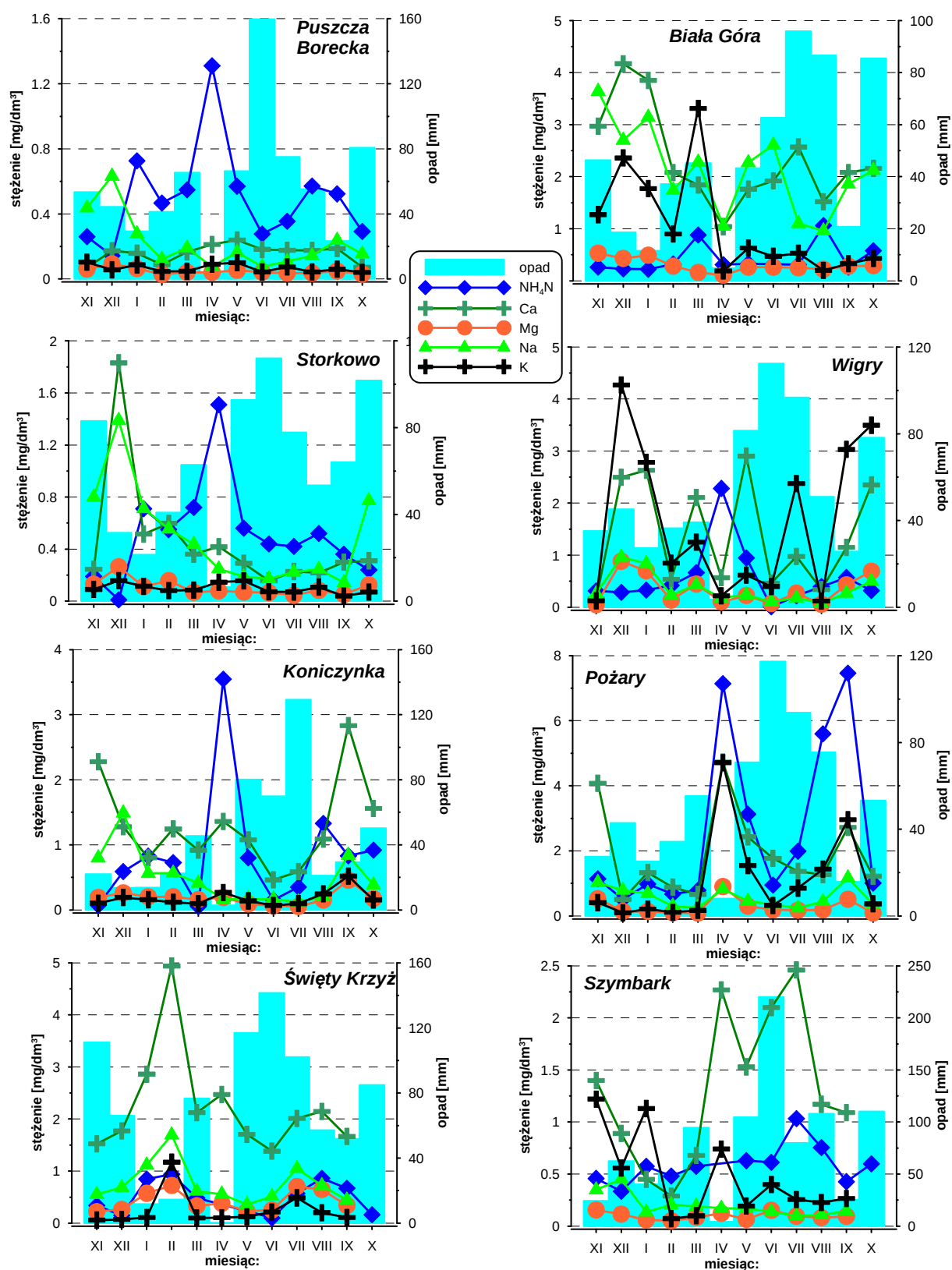
Stacja	Puszcza Borecka	Biała Góra	Storkowo	Wigry	Koniczynka	Święty Krzyż	Szymbark	Pożary
parametr	mg/dm ³							
Cl ⁻	0,43	3,12	0,84	1,38	0,68	1,20	0,96	2,10
NO ₃ ⁻	1,73	3,88	1,52	2,48	2,92	1,77	2,68	3,98
SO ₄ ²⁻	1,26	2,27	0,98	2,93	1,65	3,30	2,12	8,09
NH ₄ ⁺	0,52	0,65	0,55	0,73	0,71	0,51	0,80	2,70
	nieznaczna		Lekko podwyższona		podwyższona		Mocno podwyższona	



Ryc. 17. Udział jonów w składzie chemicznym opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.

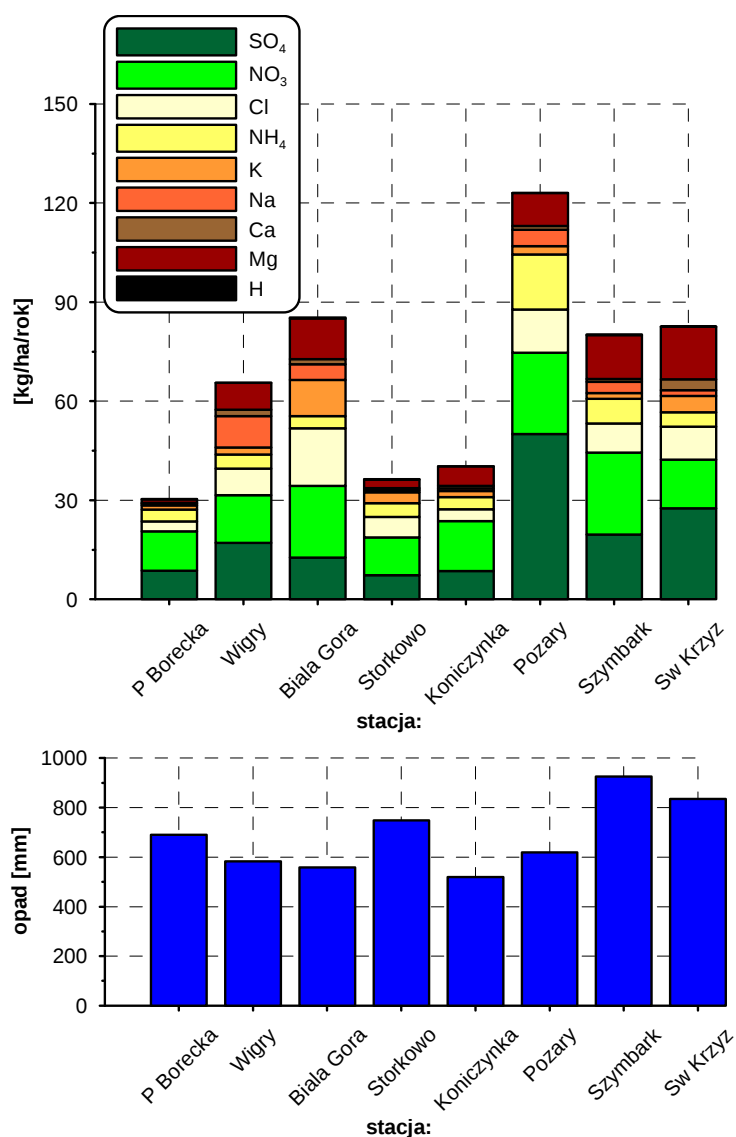


Ryc. 18. Rozkład miesięczny stężeń anionów w opadzie atmosferycznym na tle jego wysokości.

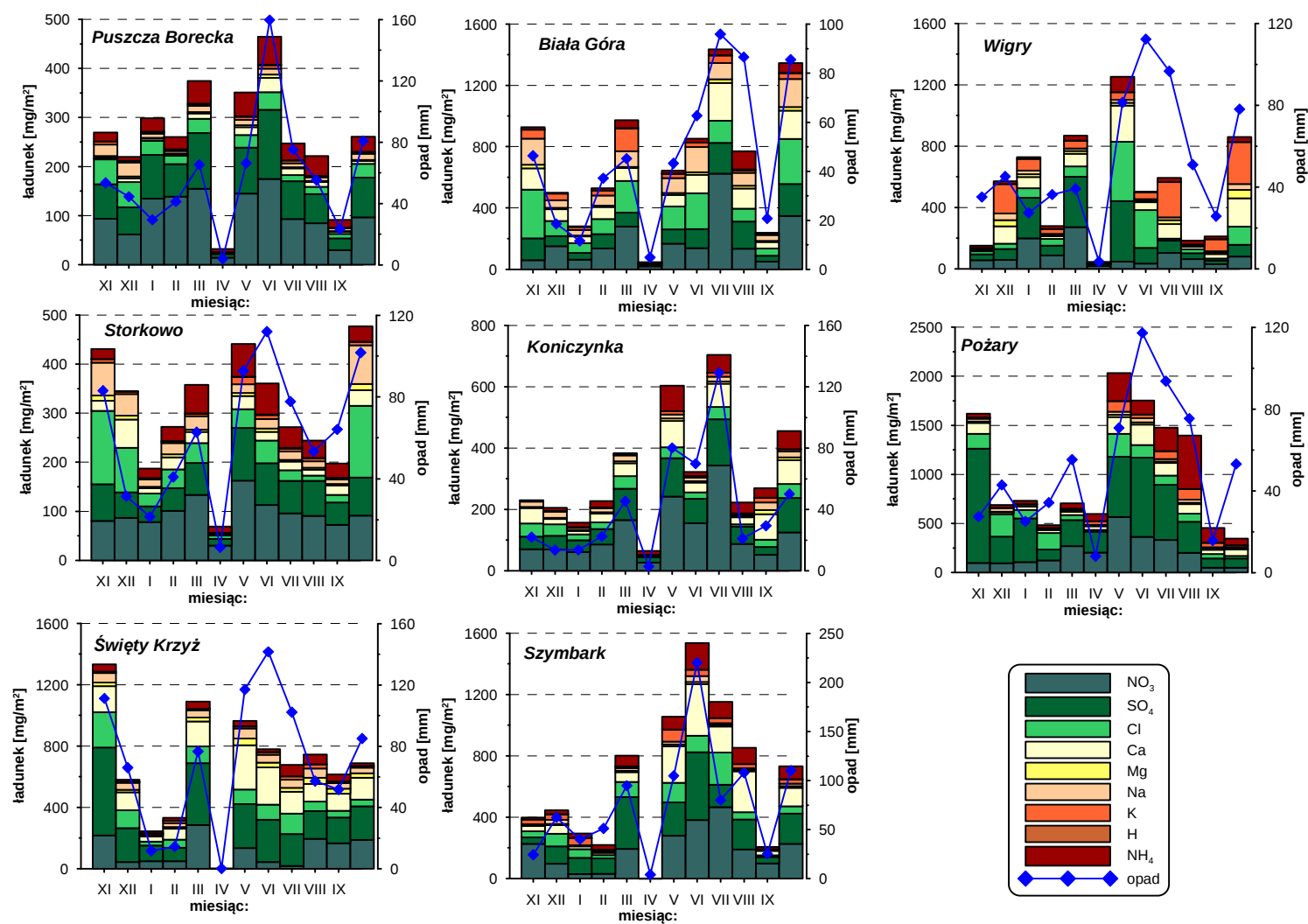


Ryc. 19. Rozkład miesięczny stężeń kationów w opadzie atmosferycznym na tle jego wysokości.

Analizując udział poszczególnych kationów i anionów w składzie chemicznym opadów atmosferycznych poza jedną stacją dominującymi anionami są siarczany oraz azotany (ryc. 17). Tylko w przypadku stacji Biała Góra większy udział w składzie chemicznym opadów mają jony chlorkowe. Nieco odmiennie przedstawia się udział poszczególnych kationów w składzie chemicznym opadów atmosferycznych. Na podstawie uzyskanych wyników nie można jednoznacznie wyróżnić jonu, który stanowiłby dominujący kation w składzie chemicznym wód opadowych na terenie wszystkich stacji ZMŚP. Do jonów, które przeważają wśród kationów należy zaliczyć: jony amonowe, wapń, sód oraz jony wodorowe. Zdecydowanie mniejsze znaczenie mają jony magnezu oraz potasu.



Ryc. 20. Wielkość depozycji atmosferycznej na tle sum rocznych opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.



Ryc. 21. Rozkład miesięczny depozycji atmosferycznej na tle opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2009.

Sód jest składnikiem, który podobnie jak chlorki, pochodzi z aerozoli morskich. Stąd jego wysoki udział w składzie chemicznym opadów na terenie stacji Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka oraz Wigry, które są zlokalizowane w północnej części kraju. Jony amonowe, które dostają się do atmosfery w wyniku procesów rozkładu materii organicznej, charakteryzują się wysokim udziałem w składzie chemicznym opadów na wszystkich stacjach. Obecność wapnia oraz magnezu w wodach opadowych związana jest z naturalnymi procesami erozji gleb oraz z działalnością przemysłową - spalaniem paliw kopalnych, produkcją cementu oraz gipsu. Są to obok jonów amonowych składniki opadów, które neutralizują oddziaływanie związków kwaśnych obecnych w opadzie atmosferycznym. Wapń był podstawowym kationem w składzie chemicznym wód opadowych na Świętym Krzyżu, w Koniczynie oraz Szymbarku. Są to obszary poddane oddziaływaniu zarówno lokalnych emisji (Koniczynka, Święty Krzyż) oraz z zanieczyszczeń o zasięgu regionalnym (Szymbark, Święty Krzyż). Udział jonów wodorowych w składzie chemicznym opadów atmosferycznych był bardzo zróżnicowany i kształtował się w granicach od ponad 10% (Puszcza Borecka) do 0,1-0,2% w stacjach Pożary oraz Koniczynka. Wysokim udziałem jonów wodorowych odznaczały się stacje położone w Polsce północnej (Puszcza Borecka, Storkowo, Biała Góra), które charakteryzują się najmniejszym poziomem zanieczyszczenia wód opadowych.

Analizując zmienność czasową stężeń wybranych jonów w opadach atmosferycznych można wyróżnić kilka schematów ich rozkładu w skali roku hydrologicznego (ryc. 18 i 19). W przypadku wszystkich stacji największe stężenia siarczanów oraz azotanów obserwowano w półroczu zimowym. Nieco odmiennie przedstawia się rozkład chlorków. Jony te osiągają zarówno wysokie stężenia w półroczu zimowym oraz w pozostałej części roku, szczególnie w okresie występowania wysokich miesięcznych sum opadów atmosferycznych (Szymbark, Wigry). Zróżnicowanie czasowe stężeń chlorków jest skorelowane z rozkładem jonów sodu, potwierdzając tym samym ich wspólne źródło pochodzenia. Najwyższe w skali roku stężenia jonów amonowych obserwowano w półroczu letnim, szczególnie w miesiącach o niskich sumach opadów atmosferycznych. Bardzo wysokie stężenia wszystkich jonów notowano w kwietniu, czyli w miesiącu najniższych sum opadów w roku 2009. Z drugiej strony w okresie maksimum opadowego (czerwiec – lipiec) stężenia substancji rozpuszczonych były wielokrotnie niższe.

W roku hydrologicznym 2009 największą depozycję atmosferyczną odnotowano na stacjach: Pożary, Święty Krzyż, Szymbark oraz Biała Góra (ryc. 20). Są to stacje o lekko lub znacznie podwyższonej mineralizacji i wysokich sumach rocznych opadów (Święty Krzyż, Szymbark). W przypadku stacji Pożary wysoka wartość depozycji atmosferycznej to przede wszystkim efekt znacznego zanieczyszczenia wód opadowych. Suma opadów atmosferycznych w tym przypadku ma mniejsze znaczenie. Wysoka wartość depozycji

atmosferycznej odnotowana dla stacji Biała Góra na wyspie Wolin to wpływ położenia tej stacji w strefie oddziaływania Bałtyku. Prawidłowość ta zostaje potwierdzona przez bardzo wysokie stężenia w opadzie atmosferycznym jonów chlorkowych i sodu, których obecność w opadzie jest związana aerozolami pochodzenia morskiego.

Warunki opadowe obok wpływu na rozkład stężeń jonów miały decydujące znaczenie dla wielkości depozycji atmosferycznej. Dla wielu stacji największy ładunek wprowadzany z opadem atmosferycznym przypadał na maj, czerwiec lub lipiec (ryc. 21). Było to związane zarówno z maksimum opadowym występującym w tym okresie roku oraz bardzo suchym okresem poprzedzającym, co w konsekwencji doprowadziło do wzrostu zawartości zanieczyszczeń w atmosferze.

PRZEPŁYW MATERII W PROFILU: ATMOSFERA – ROŚLINNOŚĆ – GLEBA

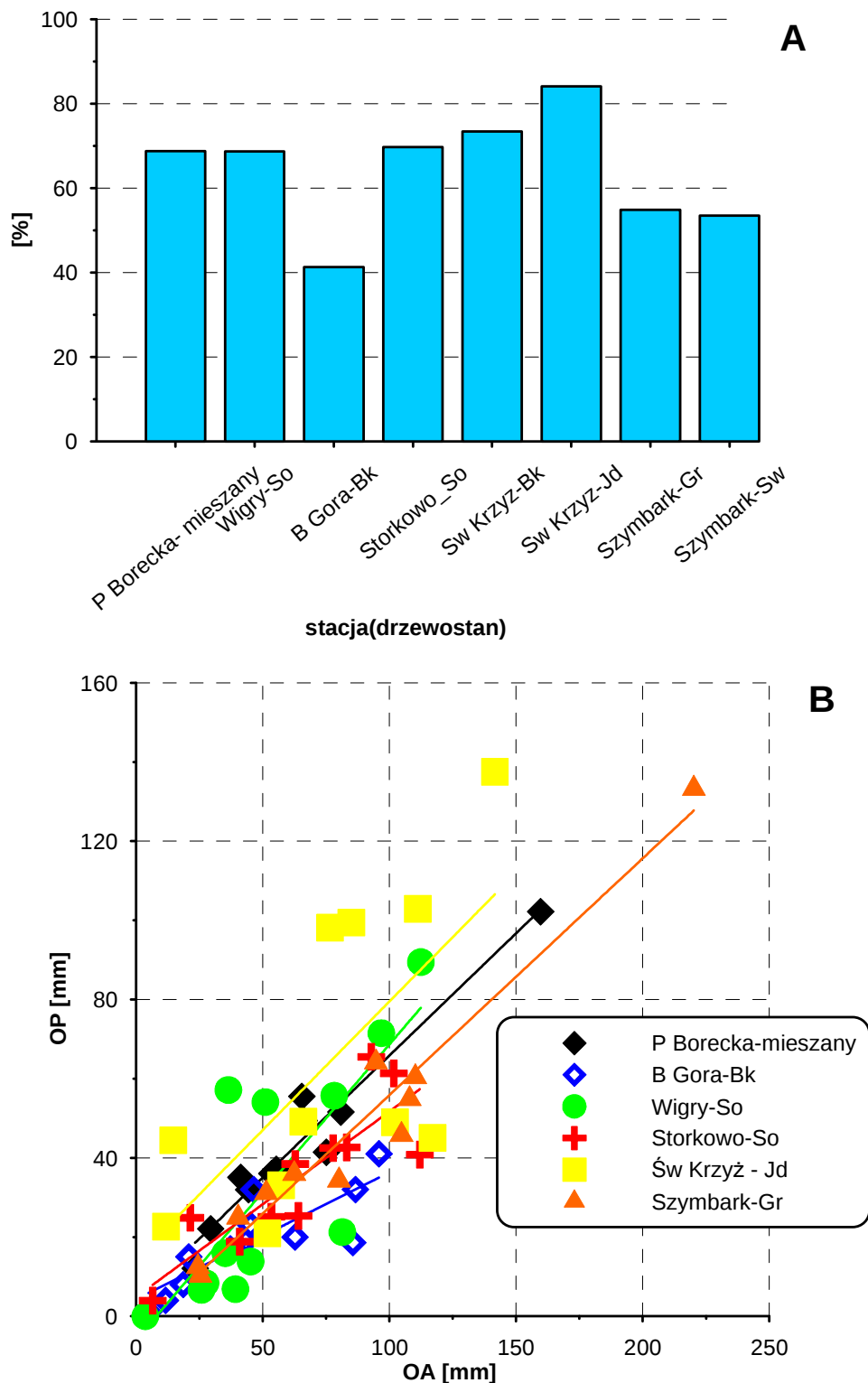
W strefie klimatu umiarkowanego roślinność aktywnie wpływa zarówno na obieg wody jak i na cykle biogeochemiczne pierwiastków. Rola roślinności jest szczególnie istotna na obszarach narażonych na oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza. Z jednej strony roślinność stanowi filtr dla zanieczyszczeń, w efekcie ładunek jonów docierający z opadem do gleby pod koronami drzew jest większy niż na terenie otwartym. Jest to szczególnie istotne w przypadku substancji zakwaszających lub alkalizujących środowisko glebowe. Z drugiej strony roślinność pobiera z opadów niektóre jony (wodorowe, azotanowe, amonowe) lub wydala (kwasy organiczne) przeciwdziałając lub intensyfikując procesy zakwaszania wód opadowych. Monitoring opadu podkoronowego w roku hydrologicznym 2009 prowadzono na wszystkich stacjach poza Koniczynką, na terenie, której brak zwartych kompleksów leśnych. Badania obejmowały zarówno zbiorowiska lasów iglastych oraz liściastych, w przypadku, których prowadzono również monitoring spływu po pniach drzew (tab. 6).

Tab. 6. Skład gatunkowy drzewostanów, w których prowadzone są programy opad podkoronowy i spływ po pniach.

stacja bazowa	opad podkoronowy	spływ po pniach
Puszcza Borecka (01ZM)	mieszany	świerk, grab, dąb
Wigry (05ZM)	sosnowo-świerkowy	-
Storkowo (06ZM)	sosnowy	-
Požary (08ZM)	sosnowy	sosna
Święty Krzyż (09ZM)	bukowo-jodłowy	buk, jodła
Szymbark (10ZM)	świerkowy, grabowy	świerk, grab
Biała Góra (11ZM)	mieszany, buk, sosna	buk

Jednym z podstawowych aspektów wpływu roślinności na obieg materii w ekosystemach leśnych jest zmniejszenie strumienia wody, który dociera z opadem do dna lasu oraz wpływ na jego zróżnicowanie przestrzenne pod koronami drzew. Ograniczenie ilości strumienia wody to przede wszystkim efekt procesu intercepcji, polegającego na zwilżaniu powierzchni roślin. Z drugiej strony dopływ wody w ekosystemach leśnych może zostać zwiększony

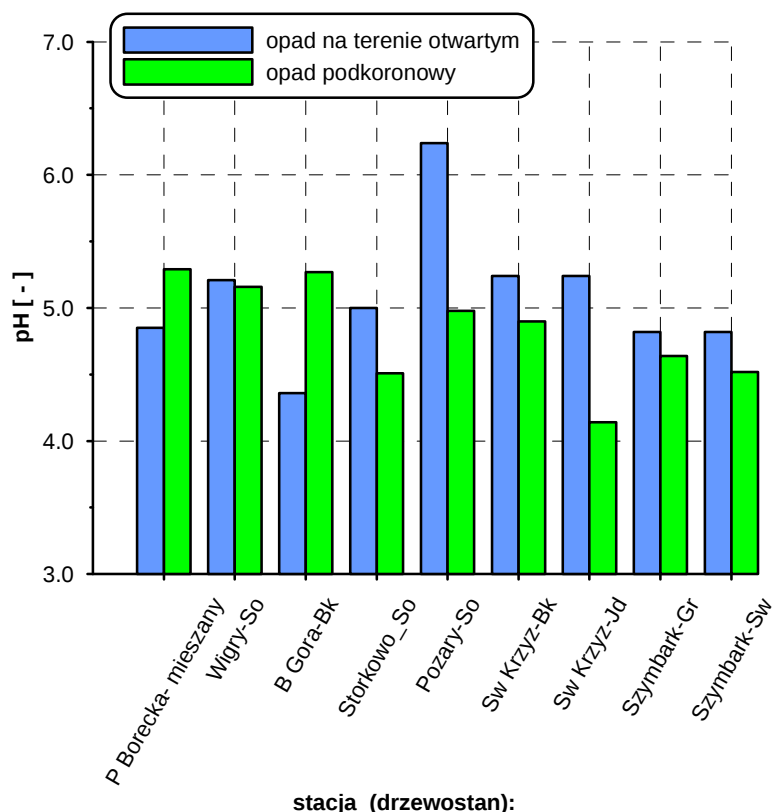
poprzez procesy wychwytywania kropelek wody zawartych w chmurach lub we mgle. Procesy te szczególnie intensywnie w zbiorowiskach leśnych położonych na terenach górskich, na których korony drzew mogą się znaleźć powyżej podstawy chmur.



Ryc. 22. Rozkład przepuszczalności drzewostanu (A) oraz zależności wysokości opadu podkoronowego (OP) od wysokości opadu na terenie otwartym (OA) (B).
Bk – buk, Gr – grab, So – sosna, Jd – jodła

Uzyskane wartości przepuszczalności rozumianej, jako procent opadu na terenie otwartym, który przenika do dna lasu, kształtowały się na poziomie od 41,3% (Biała Góra, drzewostan bukowy) do ponad 84% (Święty Krzyż, drzewostan jodłowy) (ryc. 22A). Tak wysoka wartość przepuszczalności w drzewostanie jodłowym to prawdopodobnie efekt dodatkowego strumienia wody, który jest wynikiem przechwytywania przez korony jodły kropel wody z mgieł oraz chmur. Potwierdza to również niska wartość współczynnika korelacji pomiędzy wysokością opadu podkoronowego a wysokością opadu na terenie otwartym dla tego drzewostanu (ryc. 22B). Wartość przepuszczalności strefy koron drzew dla opadów atmosferycznych nie zależy wyłącznie od wysokości opadu na terenie otwartym, ale również od typu drzewostanu (iglasty – liściasty), wieku (zwarcie koron drzew), struktury piętrowej (liczba pięter w drzewostanie). Na przepuszczalność drzewostanów wpływają również warunki meteorologiczne, w tym poza wysokością opadu, jego natężenie i czas trwania, prędkość wiatru oraz temperatura powietrza. Uzyskane wyniki wysokości opadu podkoronowego w badanych zespołach leśnych potwierdzają, że intercepcja osiąga większe wartości w drzewostanach iglastych, w porównaniu do gatunków liściastych. Jest to efekt większej powierzchni zwilżania igieł w porównaniu do liści oraz większej gęstości koron drzew iglastych. We wszystkich przypadkach uzyskano zależność wysokości opadu podkoronowego od opadu na terenie otwartym.

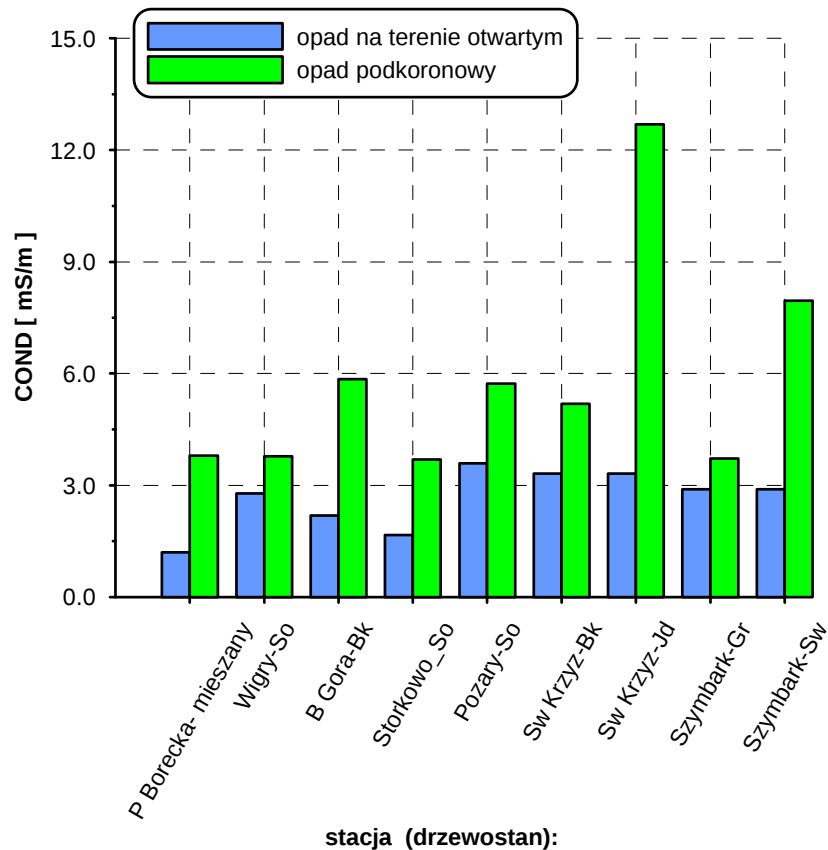
Dotychczas uzyskane wyniki w ramach monitoringu lasu potwierdzają, że właściwości chemiczne opadu w kontakcie z powierzchnią roślin zostają w znacznym zmodyfikowane. Zmiana składu chemicznego wód opadowych w zbiorowiskach leśnych jest efektem procesów splukiwania suchej depozycji z powierzchni roślin, wymiany jonowej pomiędzy opadem a powierzchnią roślin oraz procesów pobierania składników rozpuszczonych w opadzie przez rośliny. Jednym z efektów tych procesów jest zmieniony poziom kwasowości wód opadowych pod koronami drzew. Dotychczasowe badania nie potwierdzają jednoznacznie, że opad pod koronami drzew charakteryzuje się pH niższym w stosunku do opadu na terenie otwartym (opadu bezpośredniego) (Parker 1983, Van Breemen i in. 1989, Ivens 1990). Procesy zakwaszania wód opadowych w strefie koron drzew są efektem adsorpcji zanieczyszczeń atmosferycznych (związków siarki i azotu) oraz procesów wymywania z roślin słabych kwasów organicznych. Z drugiej strony w pobliżu lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń alkalicznych (przemysł cementowo-wapienniczy) obserwowany jest wzrost pH opadu pod koronami drzew. Jednocześnie same rośliny na drodze reakcji jonowymiennych, zachodzących pomiędzy opadem a komórkami roślinnymi podnoszą wartość pH poprzez pobieranie jonów wodorowych i wprowadzaniem do opadu głównie jonów potasu i wapnia.



Ryc. 23. Rozkład pH opadu podkoronowego na tle pH opadu na terenie otwartym.
Wartości średnie ważone roczne.

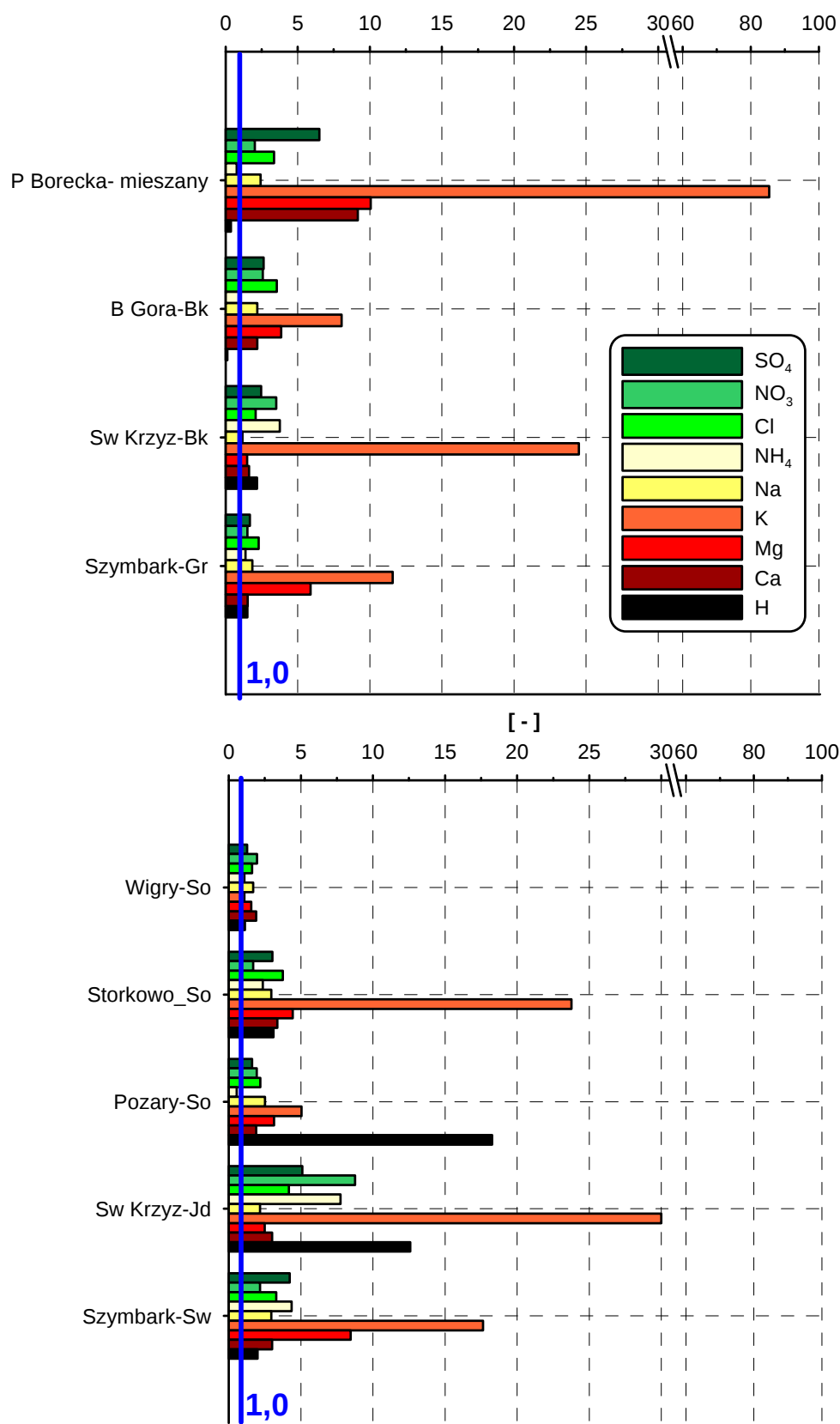
Objaśnienia ryc. 22.

Średnie roczne ważone pH opadu podkoronowego kształtował się od 4,14 w drzewostanie jodłowym na Świętym Krzyżu do 5,29 w drzewostanie mieszanym w Puszczy Boreckiej. Poza dwoma przypadkami (drzewostan bukowy na Świętym Krzyżu oraz drzewostan grabowy w Szymbarku) opad podkoronowy w zbiorowiskach lasów liściastych charakteryzował się mniejszą kwasowością w porównaniu do opadu na terenie otwartym. W przypadku drzewostanów iglastych wartości odczynu były we wszystkich przypadkach niższe (ryc. 23). Jest to zgodne z wynikami badań prowadzonych w ramach ICP Forest poziom II, które potwierdzają obecność procesów neutralizacji kwaśnych wód opadowych w strefie koron drzew w zbiorowiskach lasów liściastych. Obniżenie wartości pH w przypadku Świętego Krzyża i Szymbarku w zbiorowiskach lasów liściastych należy wiązać z procesami splukiwania zanieczyszczeń kwasowych, które zostały zdeponowane na powierzchni koron w okresie bezdeszczowym. Należy zaznaczyć, że zarówno tereny leśne na Świętym Krzyżu i w zlewni Bystrzanki są poddane immisji zanieczyszczeń kwaśnych o zasięgu lokalnym i regionalnym.



Ryc. 24. Rozkład przewodności elektrolitycznej (COND) opadu podkoronowego na tle przewodności elektrolitycznej opadu na terenie otwartym. Wartości średnie ważone roczne. Objaśnienia ryc.22.

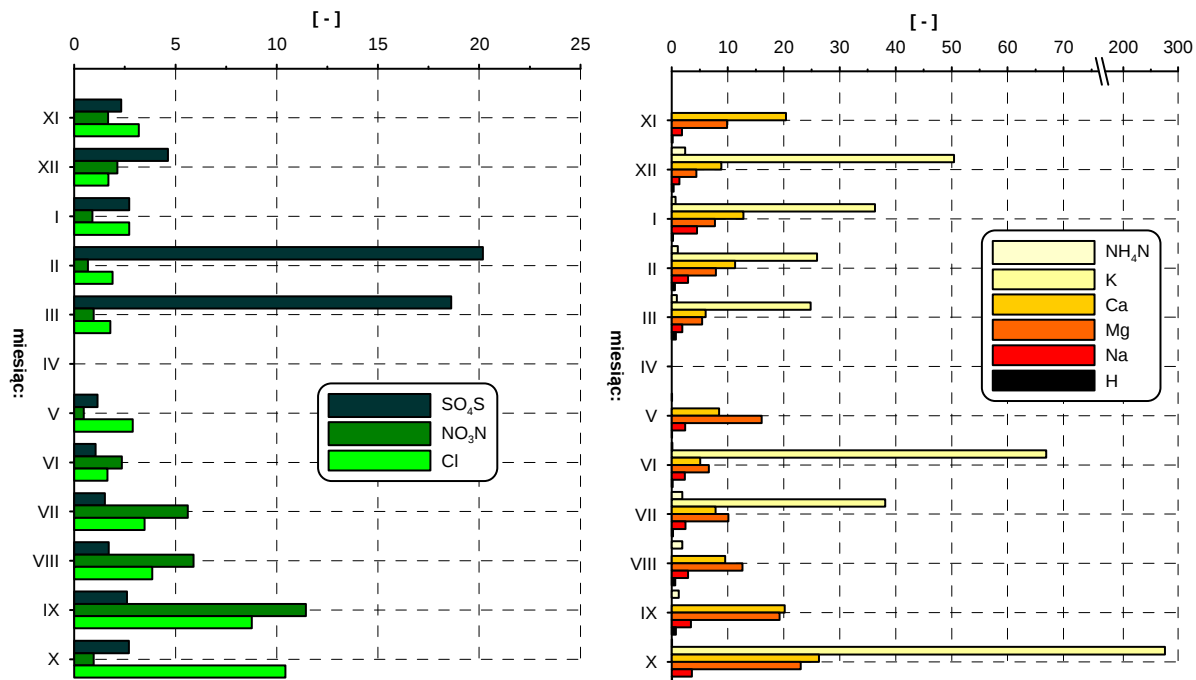
Wskaźnikiem zawartości rozpuszczonych substancji w wodzie jest przewodność elektrolityczna. Zestawienie wartości przewodności elektrolitycznej opadu pod koronami drzew na tle opadu na terenie otwartym wskazuje na obecne procesy wzbogacania wód opadowych w kontakcie z powierzchnią roślin. Poziom mineralizacji opadu podkoronowego był najwyższy w drzewostanach iglastych (ryc. 24). W drzewostanie jodłowym na Świętym Krzyżu przewodność elektrolityczna opadu podkoronowego wyniosła 12,7mS/m (średnia ważona roczna), w drzewostanie świerkowym w Szymbarku 7,96mS/m. W przypadku drzewostanów liściastych średnie ważone roczne wartości przewodności elektrolitycznej kształtowały się na poziomie poniżej 6mS/m i wynosiły odpowiednio: w drzewostanie mieszanym w Puszczy Boreckiej 3,8mS/m, w drzewostanie bukowym na Białej Górze 5,9mS/m, w drzewostanie grabowym w Szymbarku 3,7mS/m oraz w drzewostanie bukowym na Świętym Krzyżu 5,2mS/m. Wzrost przewodności elektrolitycznej opadu podkoronowego jest efektem procesów zatężenia roztworu (proces intercepcji), splukiwania suchej depozycji z powierzchni koron oraz procesów wymywania jonów z komórek roślinnych.



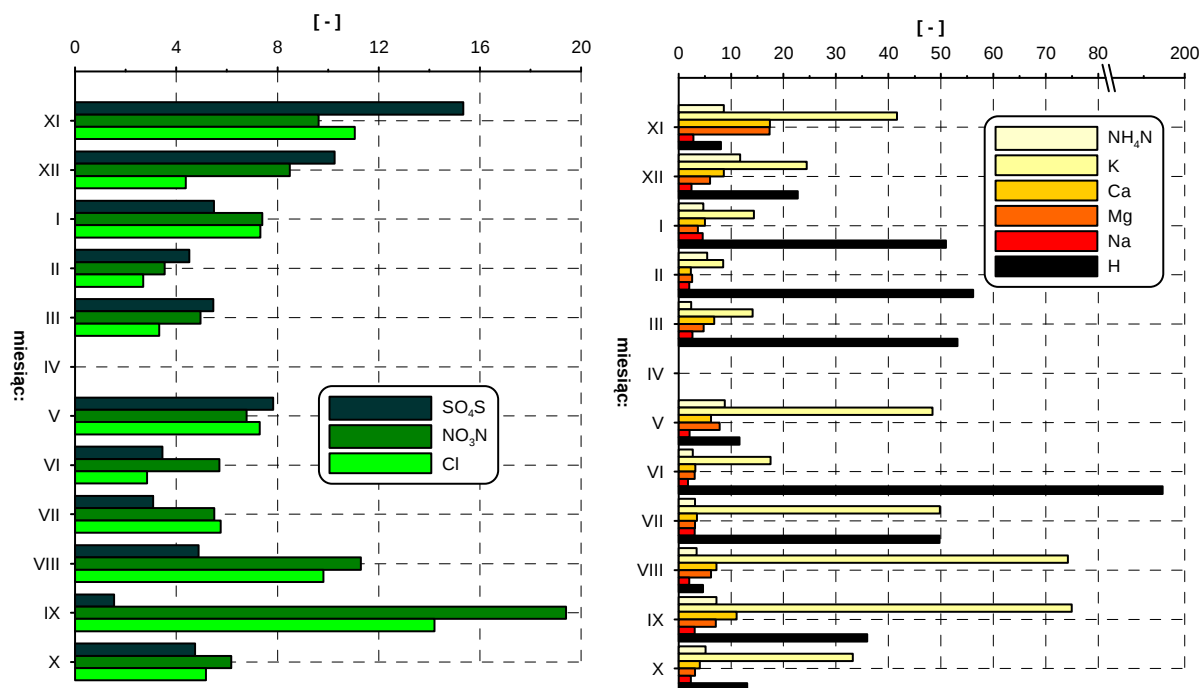
Ryc. 25. Wartości wskaźnika koncentracji dla drzewostanów liściastych i iglastych.

Objaśnienia ryc.22.

Puszcza Borecka - drzewostan mieszany



Święty Krzyż - drzewostan jodłowo-bukowy

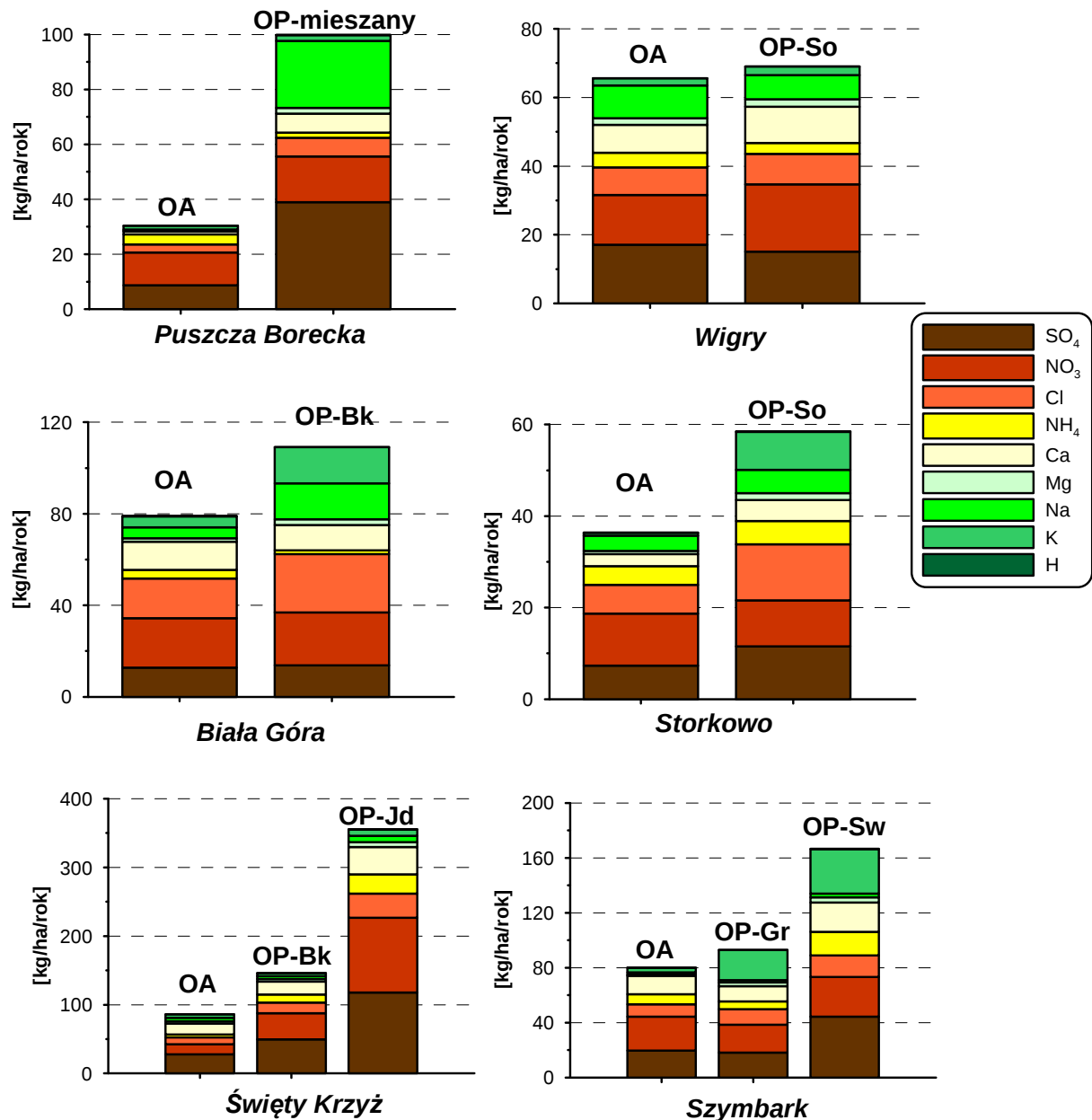


Ryc. 26. Rozkład miesięczny wskaźnika koncentracji dla dwóch wybranych zbiorowisk leśnych.

Wskaźnikiem, który oddaje stopień transformacji właściwości chemicznych wód opadowych w zbiorowiskach leśnych jest wskaźnik koncentracji rozumiany, jako stosunek stężenia danego jonu w opadzie podkoronowym do jego stężenia w opadzie na terenie otwartym (poza lasem lub powyżej koron drzew).

Wartości większe od jednoświ wskazują na procesy wzbogacenia wód opadowych zachodzące w strefie koron drzew w dany jon. Generalnie niezależnie od drzewostanu wzrasta udział w opadzie podkoronowym jonów: potasu, wapnia oraz magnezu. Wzrost stężeń tej grupy jonów jest efektem procesów wymiany jonowej i wymywania w czasie kontaktu wód opadowych z powierzchnią roślin. Wysokie wartości współczynnika koncentracji w przypadku potasu i wapnia występują przede wszystkim w zbiorowiskach gatunków liściastych. Intensywne procesy wymywania tych elementów niewątpliwie nawiązują do zasobności gleby w wymienione pierwiastki. W skali roku wartość współczynnika koncentracji dla potasu osiągnęła wartość maksymalną w drzewostanie mieszanym w Puszczy Boreckiej 85,3 oraz w drzewostanie grabowego w Szymbarku 11,6. W drzewostanach iglastych wielkości te były niższe i osiągały maksymalne wartości na poziomie 30,0 – drzewostan jodłowy na Świętym Krzyżu, 23,8 – drzewostan sosnowy z udziałem podrostu dębowego (Storkowo), 17,6 – drzewostan świerkowy w Szymbarku, 5,0 – drzewostan sosnowy w stacji Pożary (ryc. 25). Najniższe wartości współczynnika koncentracji odnotowano dla jonów wodorowych, zwłaszcza w przypadku zbiorowisk lasów liściastych. Uzyskane wartości kształtują się poniżej poziomu 1 lub oscylują w pobliżu tej wartości. Wyjątek stanowi drzewostan bukowy na Świętym Krzyżu, gdzie wartość ta wynosi 2,2 i jest efektem wychwytywania zanieczyszczeń kwasowych przez korony drzew, zwłaszcza związków azotu i siarki.

Analizując rozkład czasowy współczynnika koncentracji dla dwóch wybranych zbiorowisk leśnych: drzewostanu mieszanego w Puszczy Boreckiej oraz dla drzewostanu jodłowo-bukowego na Świętym Krzyżu, w przypadku anionów największe wzbogacenie wód opadowych pod koronami drzew miało miejsce w półroczu zimowym oraz pod koniec roku hydrologicznego. Dla kationów wartości najwyższe współczynnika koncentracji generalnie obserwowano w okresie wegetacyjnym (ryc. 26).

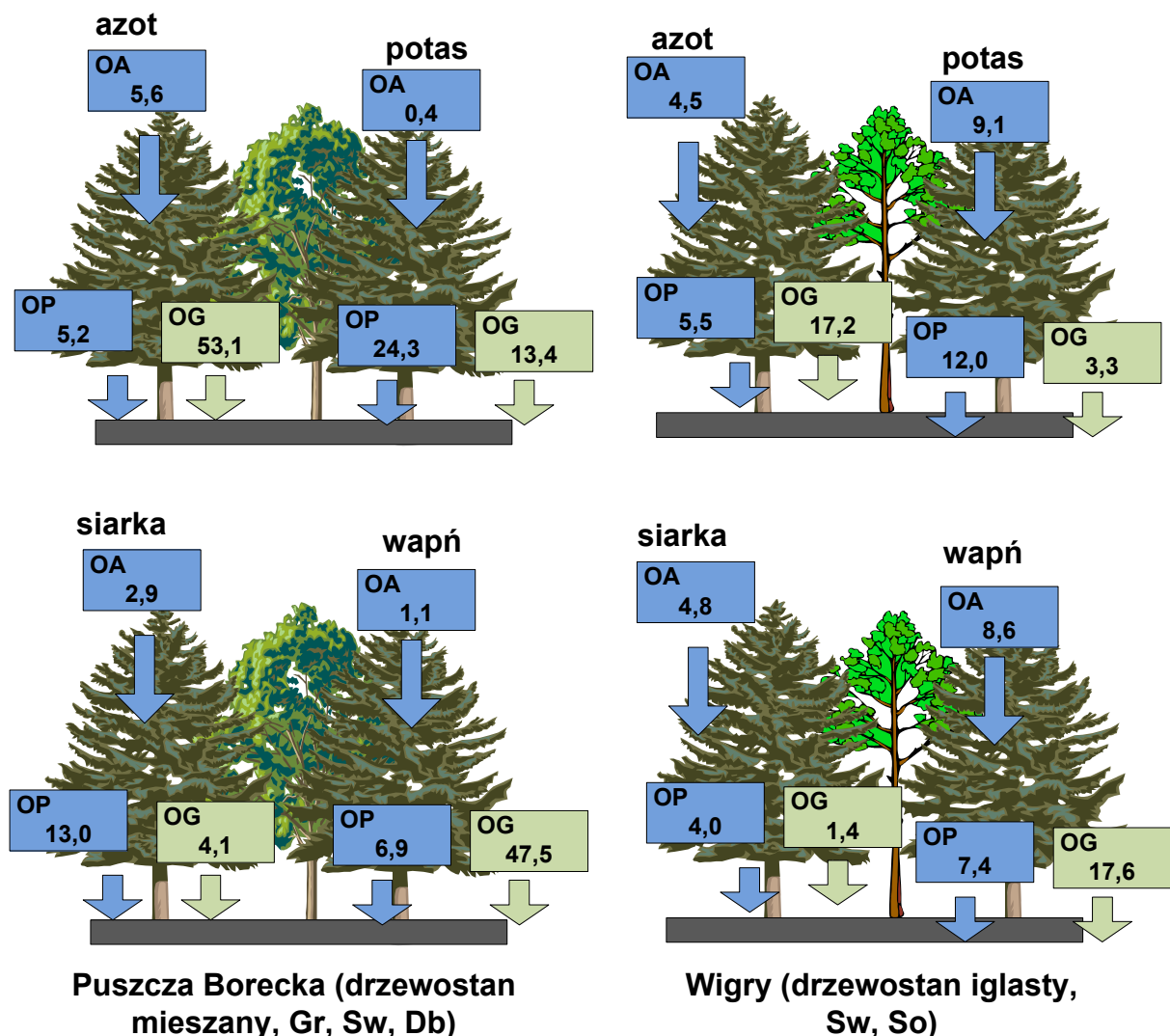


Ryc. 27 Zestawienie depozycji rocznej substancji rozpuszczonych pod koronami drzew i na terenie otwartym w roku hydrologicznym 2009.
OA- opad na terenie otwartym, OP – opad podkoronowy, pozostałe objaśnienia ryc.1.

Niewątpliwie pomimo strat wody w procesie intercepcji ładunek jonów pod koronami drzew w przekracza wartości notowane na terenie otwartym. W przypadku wszystkich drzewostanów wartość sumaryczna depozycji pod koronami przekraczała ładunek jonów, jaki dostaje się z opadem atmosferycznym do podłoża na terenie otwartym (ryc. 27). Porównując ładunki poszczególnych jonów w opadzie na terenie otwartym i opadzie podkoronowym zaznacza się spadek depozycji jonów amonowych, wodorowych pod koronami drzew. Zjawisko to zaznacza się przede wszystkim na obszarach o niewielkim poziomie zanieczyszczenia powietrza (Puszcza Borecka, Wigry, Biała Góra). Obserwowane

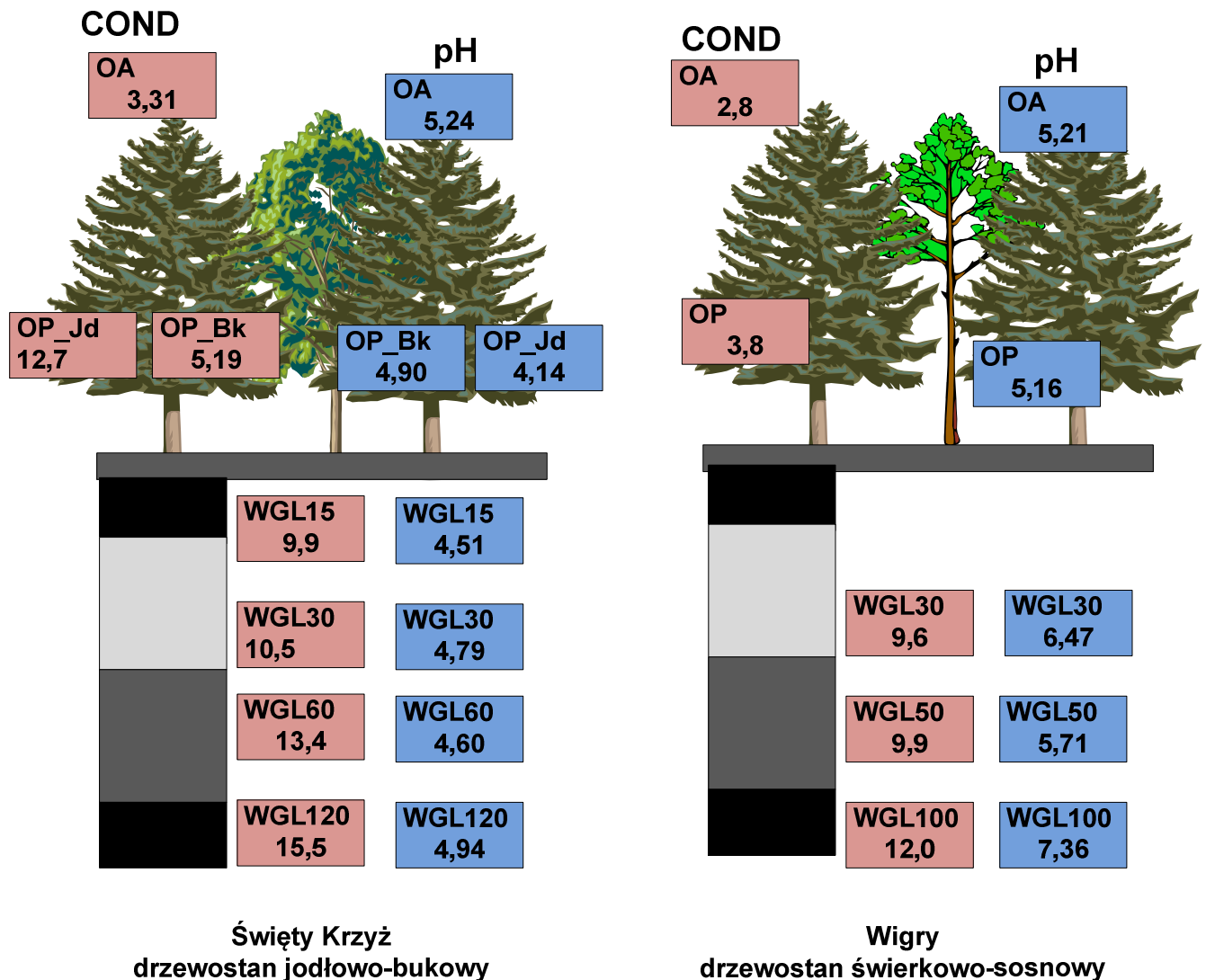
dysproporcje są efektem pobierania tych jonów przez roślinność z opadów atmosferycznych. Obecność tych procesów jest potwierdzona przez wyniki badań prowadzonych w innych ekosystemach leśnych.

W roku hydrologicznym 2009 na stacjach bazowych równoległe z pomiarem depozycji pod koronami drzew prowadzono monitoring opadu organicznego. Obok pomiaru masy opadu organicznego określano również zawartość pierwiastków w materiale organicznym. Uzyskane wartości depozycji podstawowych pierwiastków (azot, siarka, potas, wapń, sód, magnez) potwierdzają, że w większości przypadków podstawową drogą dopływu tych biogenów do gleby jest opad organiczny, który jest jedną ze składowych wewnętrznego obiegu pierwiastków w ekosystemie leśnym.



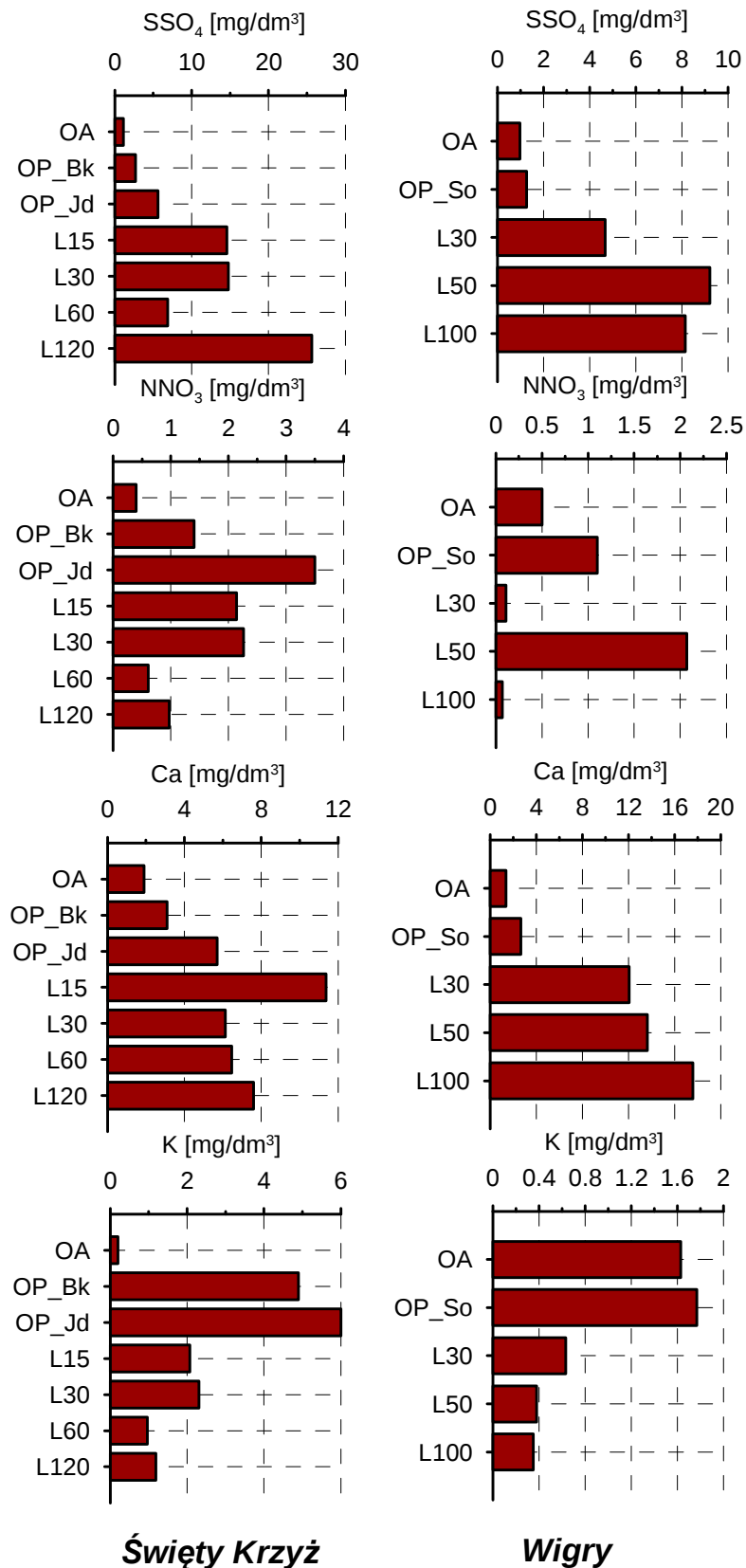
Ryc. 28. Dopływ pierwiastków z opadem atmosferycznym (OA), opadem podkoronowym (OP) i opadem organicznym (OG) w roku hydrologicznym 2009. Ładunki w kg/ha/rok.

Opad organiczny jest najważniejszą drogą dopływu azotu do gleby zarówno w przypadku drzewostanu mieszanego i iglastego (ryc. 28). Wskazuje to, że w przypadku obu ekosystemów leśnych zapotrzebowanie na ten pierwiastek jest zdecydowanie większe niż wielkość depozycji atmosferycznej. Związki azotu w tej sytuacji nie powodują zakwaszania gleby, są one bowiem wykorzystywane przez rośliny w procesie biosyntezy. Odmienne przedstawia się sytuacja w przypadku siarki. W obu ekosystemach dopływ atmosferyczny znacznie przekracza ładunek tego pierwiastka dostarczany do gleby z opadem organicznym. W takiej sytuacji dopływ atmosferyczny siarki przekracza możliwości wykorzystania tego pierwiastka przez rośliny, przyczyniając się tym samym do zakwaszania gleby.



Ryc. 29. Rozkład przewodności elektrolitycznej (COND) i pH w układzie: atmosfera (OA), opad podkoronowy (OP) – roztwory glebowe (WGL) na głębokości 15, 30, 50, 60, 100 i 120 cm w ekosystemie lasu bukowo-jodłowego (stacja Święty Krzyż) i świerkowo-sosnowym (stacja Wigry) w roku hydrologicznym 2009.

Wartości w mS/m.



Ryc. 30. Rozkład wybranych stężeń jonów w profilu: atmosfera (OA – opad atmosferyczny), roślinność (OP – opad podkoronowy, Jd – jodła, Bk – buk, So - sosna), gleba (L – roztwory glebowe na głębokości: 15, 30, 60, 100 i 120cm).

W roku hydrologicznym 2009 monitoring chemizmu roztworów glebowych prowadzony był na dwóch powierzchniach testowych: na Świętym Krzyżu (gleba rdzawo brunatna opadowoglejowa) oraz w zlewni Czarnej Hańczy (gleba płowa zbielicowana). W badaniach wykorzystywano próbники podciśnieniowe, które umieszczono na głębokościach nawiązujących do budowy profilu glebowego.

Rozkład pH w glebie na Świętym Krzyżu wskazuje, że gleba ta jest buforowana w zakresie wymiany jonowej. Średnie roczne ważone wartości pH kształtowały się od 4,51 na głębokości 15cm do 4,94 w poziomie 120cm (ryc. 30). W porównaniu do roku 2008 są to wartości zdecydowanie wyższe. Należy wspomnieć, że uzyskane w roku 2008 pH roztworu glebowego oscylowało w granicach od 3,88 do 3,98, co klasyfikowało tą glebę w zakresie buforowości glinowej. Są to również wartości większe od średniej obliczonej dla okresu od 2001 do 2009, co może być efektem m.in. wzrostu ładunku jonów wapnia dostarczanych z opadem atmosferycznym (Jóźwiak i in. 2010). Głównymi związkami, które są odpowiedzialne za zakwaszanie gleby na Świętym Krzyżu są siarczany, chlorki oraz azotany, które pochodzą z depozycji atmosferycznej, oraz uwalniane w glebie związki glinu i żelaza. Istotnym procesem, który zwiększa zakwaszanie gleby jest wychwytywanie zanieczyszczeń przez korony drzew i zwiększony tym samym strumień związków kwaśnych do gleby w zbiorowisku leśnym w porównaniu do terenu otwartego. Uzyskane wskaźniki kwasowości Ulricha, które są stosunkiem sumy stężeń molowych kationów kwaśnych do sumy wszystkich kationów, pozwalają zaliczyć te gleby do klasy słabo kwaśnej (Jóźwiak i in. 2010).

W przypadku gleby płowej zbielicowanej w zbiorowisku boru świeżego w zlewni Czarnej Hańczy wartość odczynu wynosiły 6,47 na głębokości 30cm, 5,71 na 50cm oraz 7,36 na głębokości 100cm. Uzyskane wartości pH wskazują, że omawiana gleba jest buforowana w zakresie buforowości krzemianowej i węglanowej. W składzie chemicznym roztworów glebowych dominowały: siarczany, natomiast wśród kationów wapń i sód.

Analiza rozkładu stężeń w profilu: opad atmosferyczny – opad podkoronowy – roztwory glebowe przeprowadzona na przykładzie dwóch ekosystemów leśnych: na Świętym Krzyżu i Wigrach pozwala wydzielić grupy pierwiastków, które różnią się schematem przepływu przez ekosystem leśny (ryc. 30). Pierwiastki takie jak wapń, magnez, sód i w mniejszym stopniu potas o ich rozkładzie stężeń decydują procesy wietrzenia chemicznego, ługowania i pobierania przez rośliny. Stąd najwyższe stężenia tych pierwiastków występują w roztworach glebowych. Na intensyfikację ich obiegu w ekosystemie wpływają również procesy zachodzące w strefie koron drzew podczas kontaktu wód opadowych z powierzchnią roślin. Zjawisko wymiany jonowej pomiędzy opadem a powierzchnią roślin jest najważniejszym procesem obok opadu organicznego, który wpływa na dynamikę obiegu potasu w ekosystemie. W profilu glebowym potas jest zatrzymywany albo na drodze

biologicznej poprzez pobieranie przez roślinność lub w wyniku zachodzących procesów geochemicznych pomiędzy minerałami wtórnymi i fazą ciekłą gleby. Obie formy azotu ulegają zatrzymaniu w ekosystemie. Ich stężenia maleją wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym. W przeciwieństwie do azotu siarka ma mniejsze znaczenie w procesie biosyntezy. Stąd jej wysokie stężenia w profilu glebowym niezależnie od głębokości. Obecność siarki w roztworach glebowych jest efektem nie tylko depozycji tego pierwiastka z atmosfery ale również procesów geochemicznych obecnych w glebie.

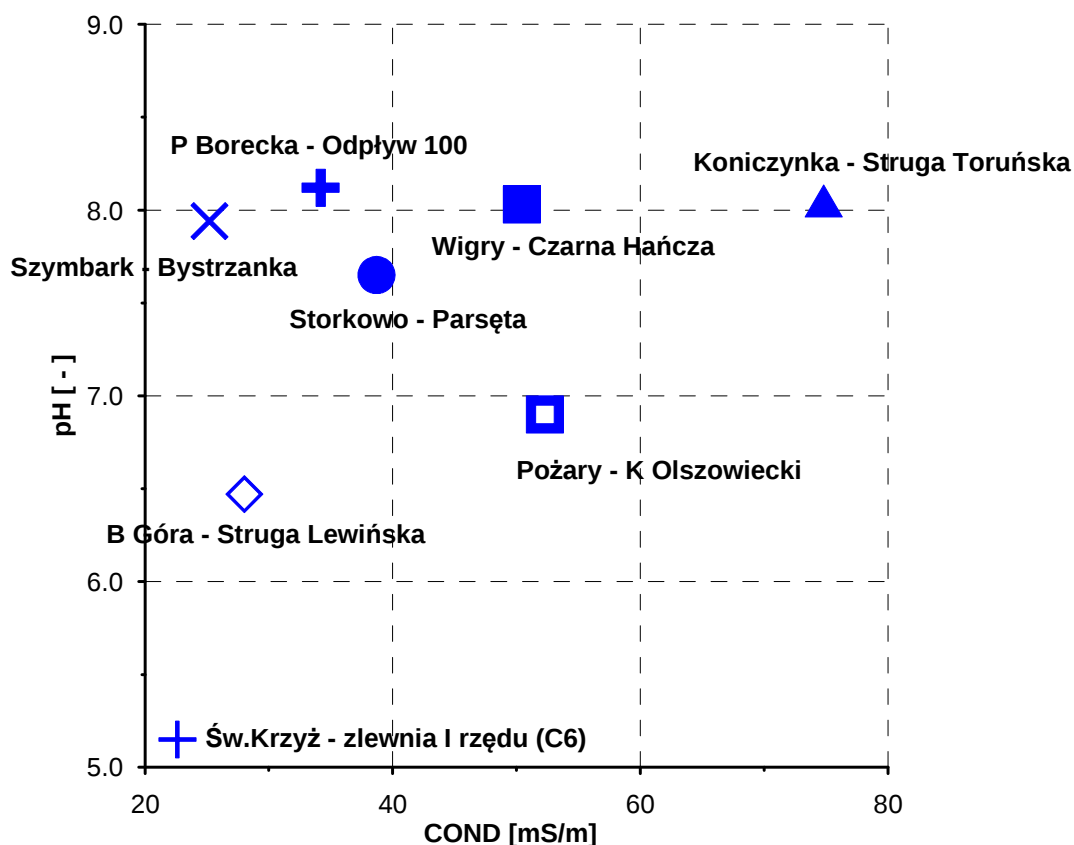
Uzyskane wyniki badań transformacji właściwości fizykochemicznych opadów atmosferycznych w zbiorowiskach leśnych potwierdzają dominującą rolę roślinności w tych procesach. Zwiększona depozycja atmosferyczna pod koronami drzew jest przede wszystkim efektem wychwytywania zanieczyszczeń atmosferycznych przez korony drzew oraz procesy wymywania jonów z komórek roślinnych i wzbogacanie w te składniki wód opadowych. Zwiększony dopływ substancji kwasogennych z opadem atmosferycznych docierający do gleby w zbiorowiskach leśnych odpowiedzialny jest za proces zakwaszania gleb i wymywania z gleby kationów alkalicznych, których miejsce w kompleksie sorpcyjnym gleby zajmują kwaśne kationy glinu, żelaza oraz jony wodorowe. Procesy te są szczególnie intensywne w przypadku gleb o niewielkich właściwościach buforowych w zakresie kwaśnym.

OBIEG MATERII W SKALI ZLEWNI RZECZNEJ

Monitoring wód powierzchniowych w roku hydrologicznym 2009 prowadzony był na wszystkich stacjach bazowych. Odpływ powierzchniowy jest podstawową drogą odprowadzania substancji rozpuszczonych i zawieszin z obszaru zlewni. Do zasadniczych źródeł substancji obecnych w odpływie powierzchniowym należy zaliczyć: dopływ atmosferyczny, obieg biologiczny, procesy denudacyjne, zasilanie podziemne. W coraz większym stopniu skład chemiczny wód powierzchniowych jest modyfikowany przez działalność człowieka, szczególnie na obszarach zurbanizowanych oraz intensywnie wykorzystywanych rolniczo.

Tab. 7. Monitoring rzek, system pomiarowy

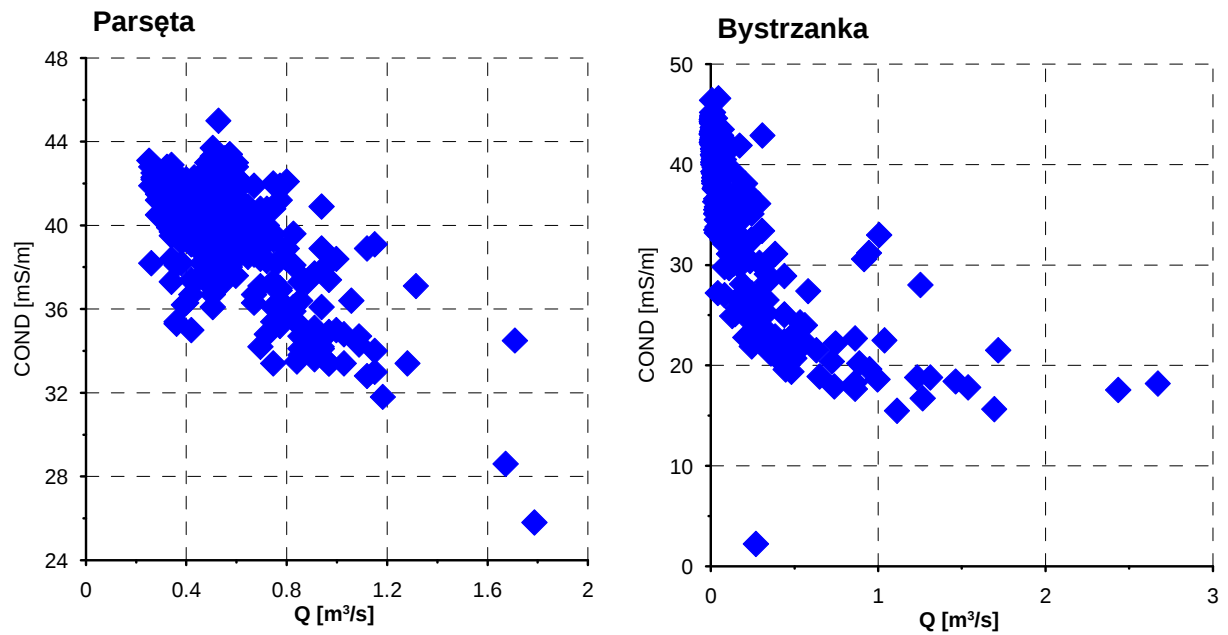
stacja bazowa	zlewnia	powierzchnia zlewni (km ²)	system pomiarowy
Puszcza Borecka (01ZM)	Jezioro Łękuk (Odpływ 100)	0,35	limnimetr
Wigry (05ZM)	Czarna Hańcza	7,44	dwa punkty pomiarowe (Sobolewo, Ujście), limnigraf
Storkowo (06ZM)	górna Parsęta	74,0	dwa stanowiska, łąta wodowskazowa
Koniczynka (07ZM)	Struga Toruńska	371,0	dwa punkty: Lipowiec, Koniczynka, łąta wodowskazowa, limnigrafy
Požary (08ZM)	Kanał Olszowiecki	20,2	łąta wodowskazowa
Święty Krzyż (09ZM)	zlewnia I rzędu na stoku Łysej Góry	1,27	przelew, dwa punkty pomiarowe
Szymbark (10ZM)	Bystrzanka	13,0	limnigraf
Biała Góra (11ZM)	Jezioro Gardno (Lewińska Struga)	2,65	metoda konduktometryczna



Ryc. 31. Rozkład średnich rocznych wartości pH i przewodności elektrolitycznej (COND) wód rzecznych w roku hydrologicznym 2009.

Analizując wartości średnie roczne pH i przewodności elektrolitycznej wody rzeczne objęte monitoringiem należą do wód o pH obojętnym lub lekko zasadowym, wysoko zmineralizowanych (ryc. 31). Są one głównie zasilane przez 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 depozytu atmosferycznych związków kwasogennych.

Sezonowość transportu fluwialnego jest wypadkową źródeł dostawy materiału oraz warunków hydrometeorologicznych. Przebieg przewodności właściwej, która jest wskaźnikiem mineralizacji wód rzecznych, zależy od rozkładu przepływu. Zależność ta ma charakter odwrotnie proporcjonalny (funkcja wykładnicza), najwyższe wartości odnotowano 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.

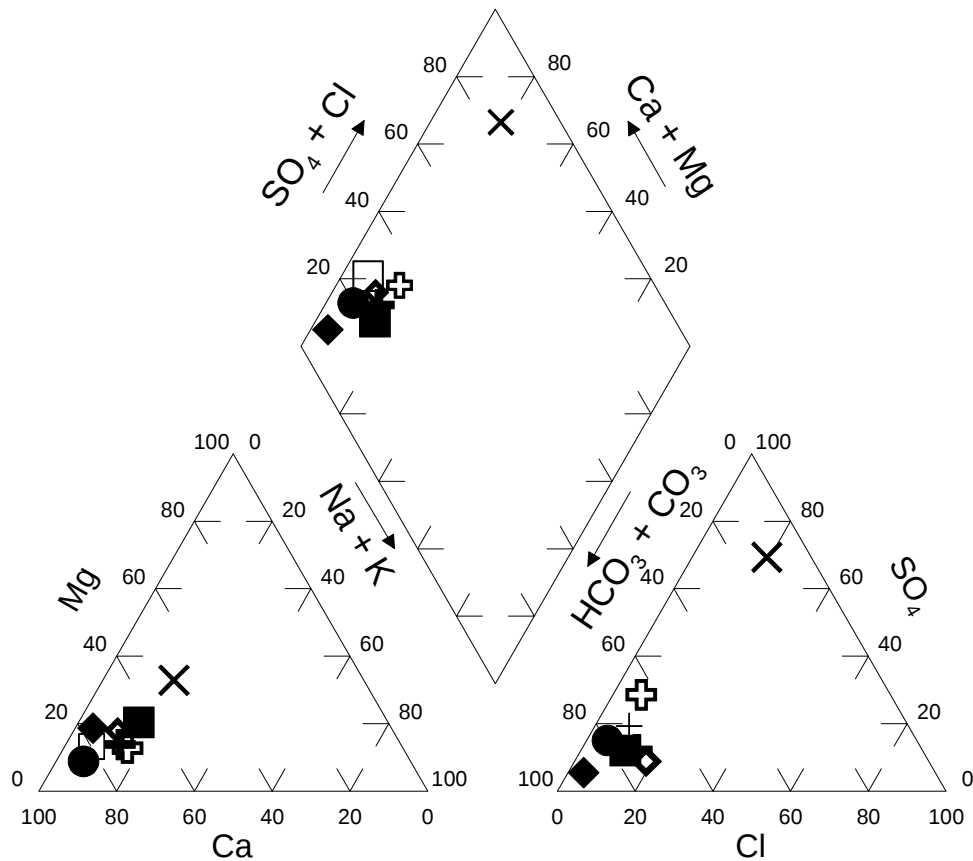


Ryc. 32. Zależność przewodności elektrolitycznej (COND) od przepływu (Q) dla Parsęty i Bystrzanki w roku hydrologicznym 2009, wartości dobowe.

Tab. 8. Klasyfikacja hydrochemiczna wg. Altowskiego i Szwieca wód powierzchniowych w roku hydrologicznym 2009.

Stacja Bazowa	Typ hydrochemiczny
Szybark Bystrzanka	$\frac{HCO_3^{61}SO_4^{27}Cl^7}{Ca^{70}Mg^{13}Na^{13}}$
Wigry Czarna Hańcza Sobolewo	$\frac{HCO_3^{74}SO_4^{12}Cl^{11}}{Ca^{63}Mg^{20}Na^{14}}$
Puszcza Borecka Odpływ 100	$\frac{HCO_3^{90}SO_4^6Cl^4}{Ca^{77}Mg^{18}Na^3}$
Storkowo Parsęta	$\frac{HCO_3^{79}SO_4^{14}Cl^5}{Ca^{80}Mg^9Na^6}$
Biała Góra Lewińska Struga	$\frac{HCO_3^{73}SO_4^{12}Cl^{14}}{Ca^{72}Mg^{14}Na^{12}}$
Koniczynka Struga Toruńska	$\frac{HCO_3^{73}SO_4^9Cl^{18}}{Ca^{71}Mg^{18}Na^9}$
Požary K. Olszowiecki	$\frac{HCO_3^{71}SO_4^{20}Cl^9}{Ca^{80}Mg^{13}Na^7}$
Święty Krzyż C6	$\frac{SO_4^{80}Cl^{13}HCO_3^7}{Ca^{64}Mg^{21}Na^{15}}$

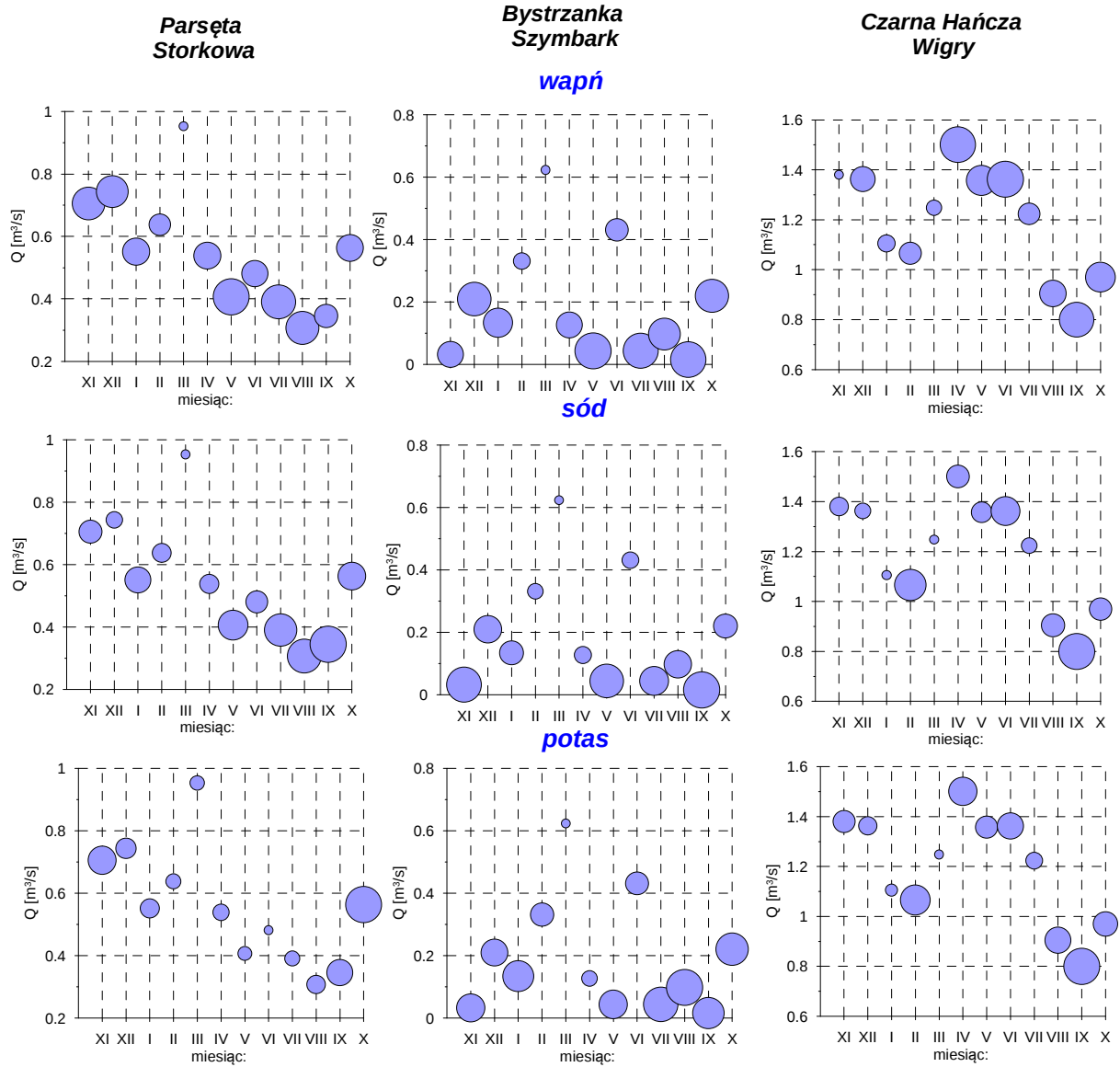
Analiza składu chemicznego wód powierzchniowych monitorowanych w ramach ZMŚP pozwala je zaliczyć wg klasyfikacji Altowskiego i Szwieca do wód prostych: wodorowęglanowo-wapniowych (Czarna Hańcza, Parsęta, odpływ 100 – zlewnia Jeziora Łękuk), wodorowęglanowo-wapniowo-siarczanowych (Bystrzanka) oraz siarczanowo-wapniowo (zlewnia I rzędu punkt wodowskazowy C6 stacja Święty Krzyż) (ryc. 33) .



stacje:

P Borecka - Odpływ 100	◆
Wigry - Czarna Hańcza	■
B Góra - Struga Lewińska	+
Storkowo - Parsęta	●
Koniczynka - Struga Toruńska	◇
Požary - Kanał Olszowiecki	□
Św. Krzyż - zlewnia I rzędu (C6)	×
Symbark - Bystrzanka	⊕

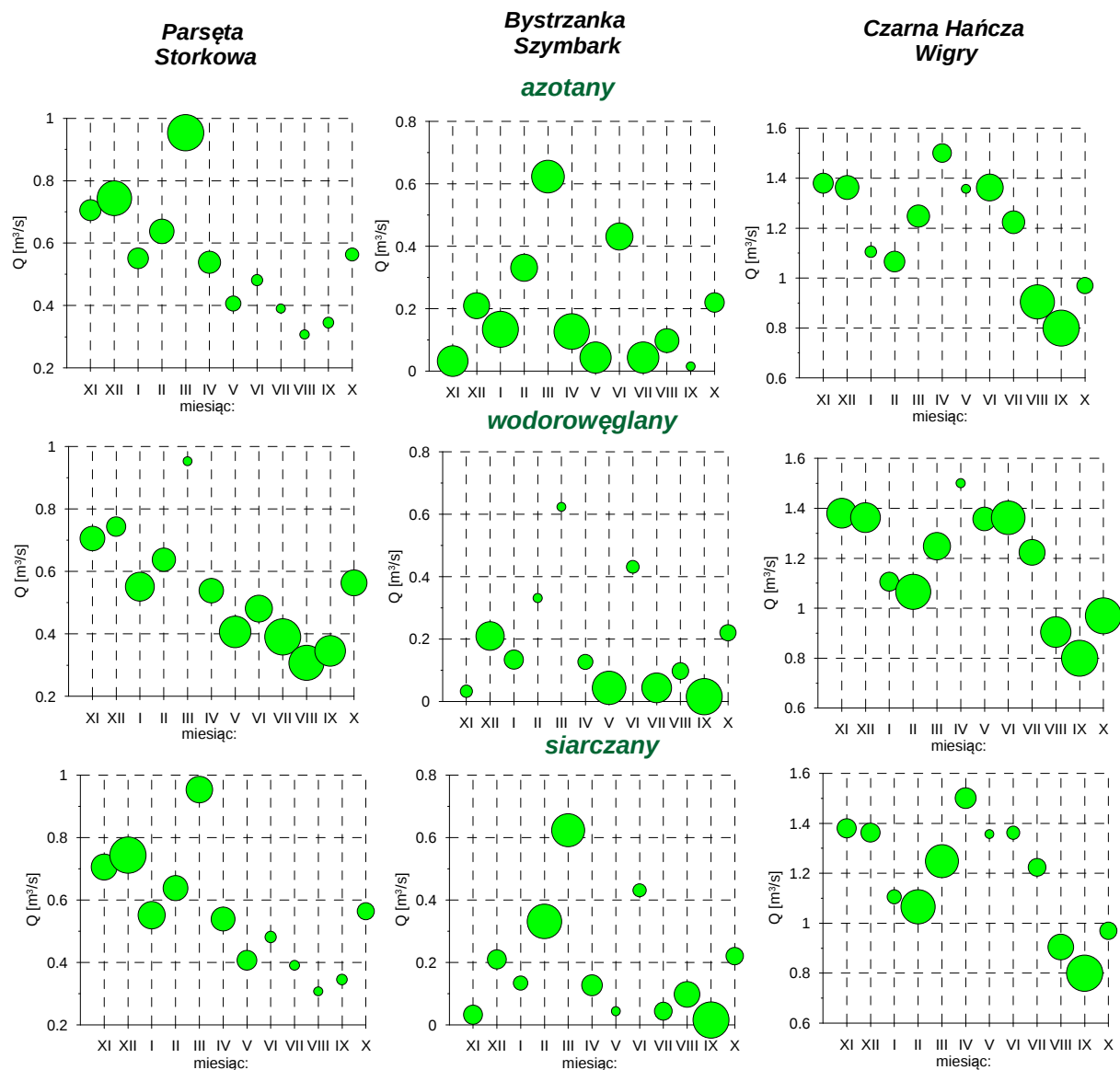
Ryc. 33. Skład chemiczny wód rzecznych w roku hydrologicznym 2009.



Ryc. 34. Rozkład miesięcznych stężeń wybranych kationów w odpływie powierzchniowym. wielkość symbolu zależy od wartości stężenia

Sezonowość transportu fluwialnego jest wypadkową źródeł dostawy materiału oraz warunków hydrometeorologicznych. Zestawienie miesięcznych stężeń wybranych jonów w odpływie rzeczny na tle przepływu wskazuje, że w przypadku tych składników, których obecność w transporcie fluwialnym jest związana z procesami denudacji chemicznej zachodzącymi w zlewni, najwyższe stężenia występują w okresie dominacji zasilania podziemnego, które przypada na okres niskich przepływów w korycie. Do jonów tych należy zaliczyć: wodorowęglany, wapń, sód oraz magnez (ryc. 34, 35).

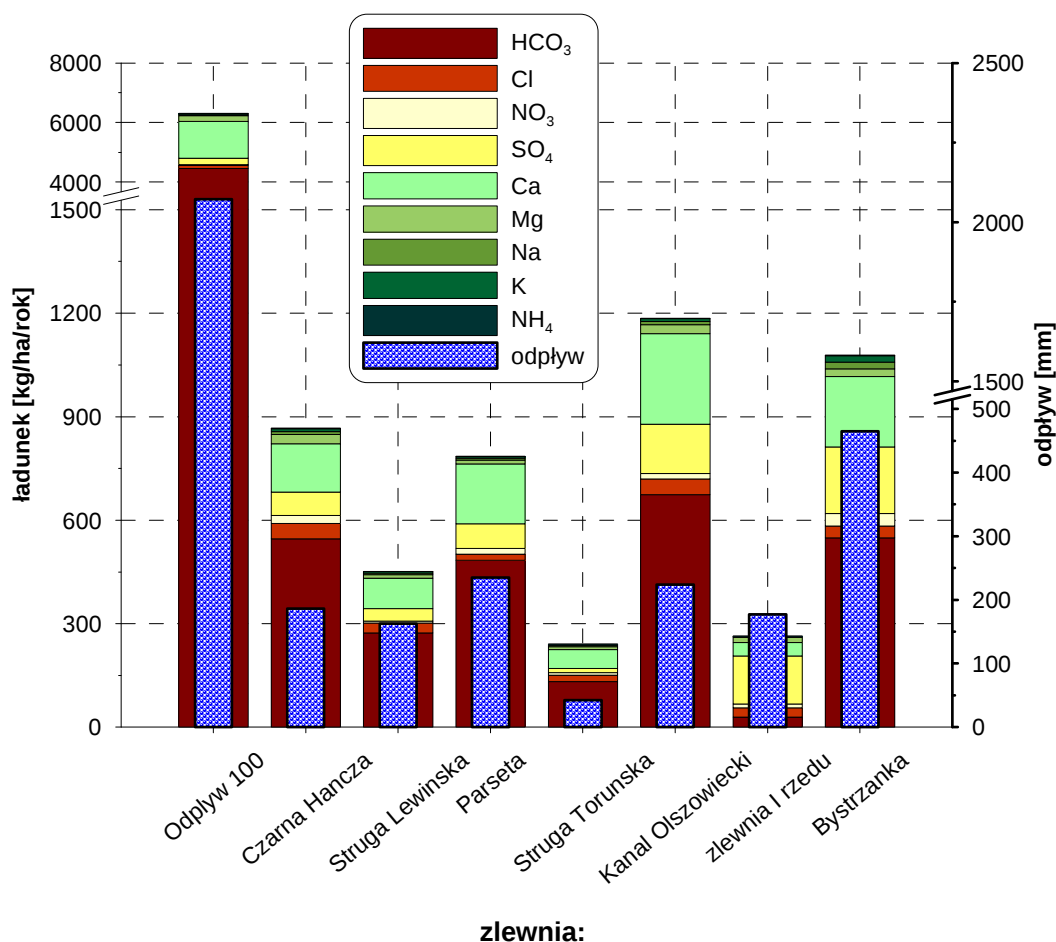
Należy jednak zaznaczyć, że zależność przepływ – stężenie danego jonu mają niewielką moc wyjaśniającą, wskazując tym samym na obecność innych procesów, które mają wpływ na zmiany sezonowe stężeń jonów w odpływie rzeczny. Do procesów tych należy zaliczyć przede wszystkim oddziaływanie człowieka.



Ryc. 35. Rozkład miesięcznych stężeń wybranych anionów w odpływie powierzchniowym. wielkość symbolu zależy od wartości stężenia

Jony azotanowe, amonowe, fosforanowe oraz w znacznej mierze siarczany należą do elementów składu chemicznego, których obecność w odpływie rzeczny to przede wszystkim efekt działalności człowieka. Wzrost stężeń tych jonów czasowo skorelowany jest z okresami wezbrań i dostawą do koryta wód o niewielkim czasie migracji w zlewni i niskiej mineralizacji (ryc. 35). Są to również jony, które charakteryzują się największą zmiennością

stężenia w skali roku hydrologicznego. W przypadku zlewni rzecznych o niewielkiej presji antropogenicznej (np. zlewnia Parsęta) rozkład stężeń azotanów oraz fosforanów uwarunkowany jest dynamiką procesów biologicznych. Największe stężenia obserwowane są w miesiącach zimowych, w okresie letnim biogeny te są wykorzystywane w procesie biosyntezy. W przypadku zlewni Czarnej Hańczy ten naturalny rozkład stężeń azotanów w odpływie rzeczny zostaje zakłócony przez dopływ ścieków, w tym przypadku z oczyszczalni w Suwałkach (Krzysztofiak i in. 2010).

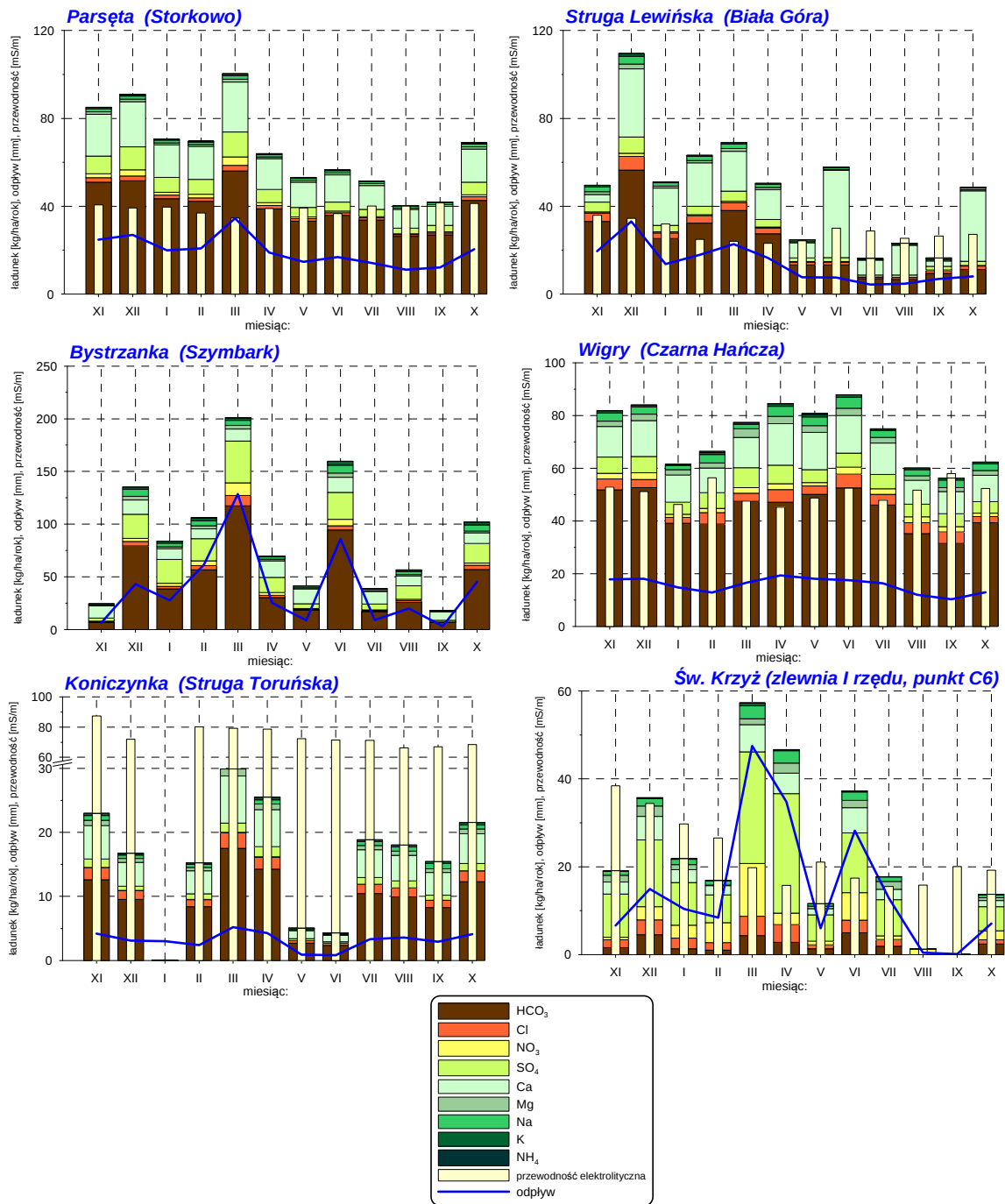


Ryc. 36. Struktura rocznego ładunku substancji rozpuszczonych w odpływie rzeczny w roku hydrologicznym 2009.

Analiza struktury ładunku, który zostaje odprowadzony poza obszar badanych zlewni rzecznych, potwierdza, że największy udział w materiale rozpuszczonym mają wodorowęglany oraz jony wapniowe (ryc. 36). Udział tych elementów w spływie jonowym zależy od intensywności procesów wietrzenia chemicznego i oprowadzania jego produktów poza geosystem. Znaczenie w odprowadzanym ładunku składników pozadenudacyjnych (azotanów, jonów amonowych, fosforanów, chlorków) jest zdecydowanie mniejsze. Odmienne przedstawia się struktura transportu fluwialnego w zlewni badawczej położonej na północnym Łysej Góry (stacja Św. Krzyż). W przypadku tej stacji obserwuje się wysoki

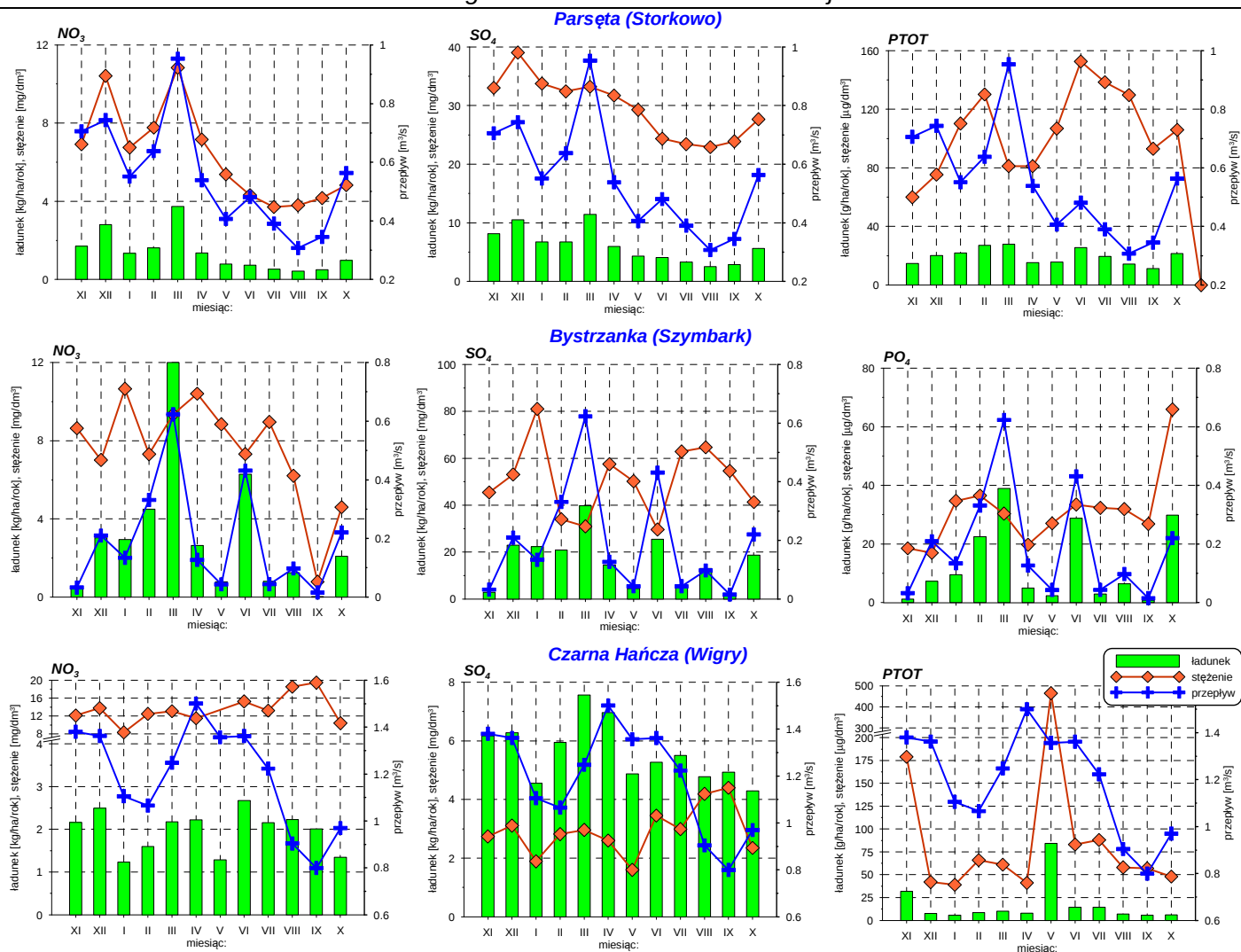
udział siarczanów, chlorków w ładunku odprowadzanym przez wody rzeczne. Obecność tych składników w transporcie fluwialnym jest związana z depozycją atmosferyczną oraz zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego (siarczany).

W większości monitorowanych zlewni rzecznych odprowadzony ładunek jonów w roku hydrologicznym 2009 był zbliżony do wartości notowanych w roku poprzedzającym. Wyjątek stanowią dwie stacje: Puszcza Borecka (zlewnia Jeziora Łękuk) oraz Pożary (zlewnia Kanału Olszowieckiego) w przypadku, których uzyskane wartości są zdecydowanie większe.



Ryc. 37. Miesięczny rozkład substancji rozpuszczonych w odpływie rzeczonym w roku hydrologicznym 2009

obieg materii w skali zlewni rzecznej



Ryc. 38. Rozkład ładunków biogenów w odpływie rzecznym na tle ich stężeń i przepływu w roku hydrologicznym 2009.

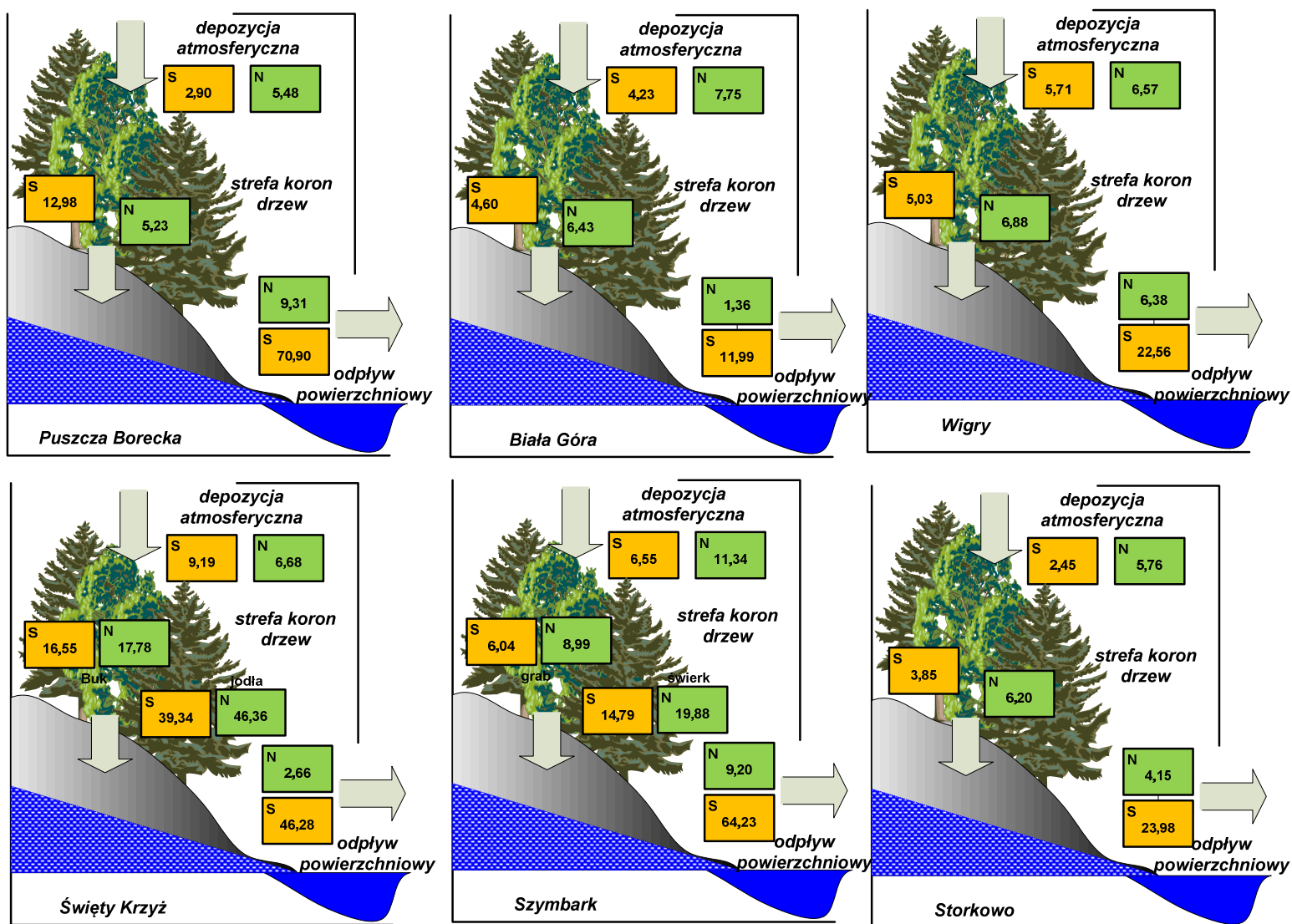
Ekstremalnie wysokie wartości odprowadzanego ładunku w przypadku tych dwóch zlewni to efekt działalności na ich obszarze bobrów i związane z tym bardzo wysokie przepływy w okresie likwidowania tam. Dla stacji Puszcza Borecka wartość odpływu wód ze zlewni była największa w dotychczasowej historii prowadzenia badań na jej terenie, natomiast odpływ roczny z terenu zlewni Kanału Olszewskiego w roku 2009 był największy od roku 2002.

Ponadto w przypadku stacji Pożary uzyskane dane dotyczące średnich rocznych stężeń jonów w odpływie rzeczonym są mało reprezentatywne, ponieważ w ciągu roku wykonano tylko czterokrotnie analizy składu chemicznego wód rzecznych.

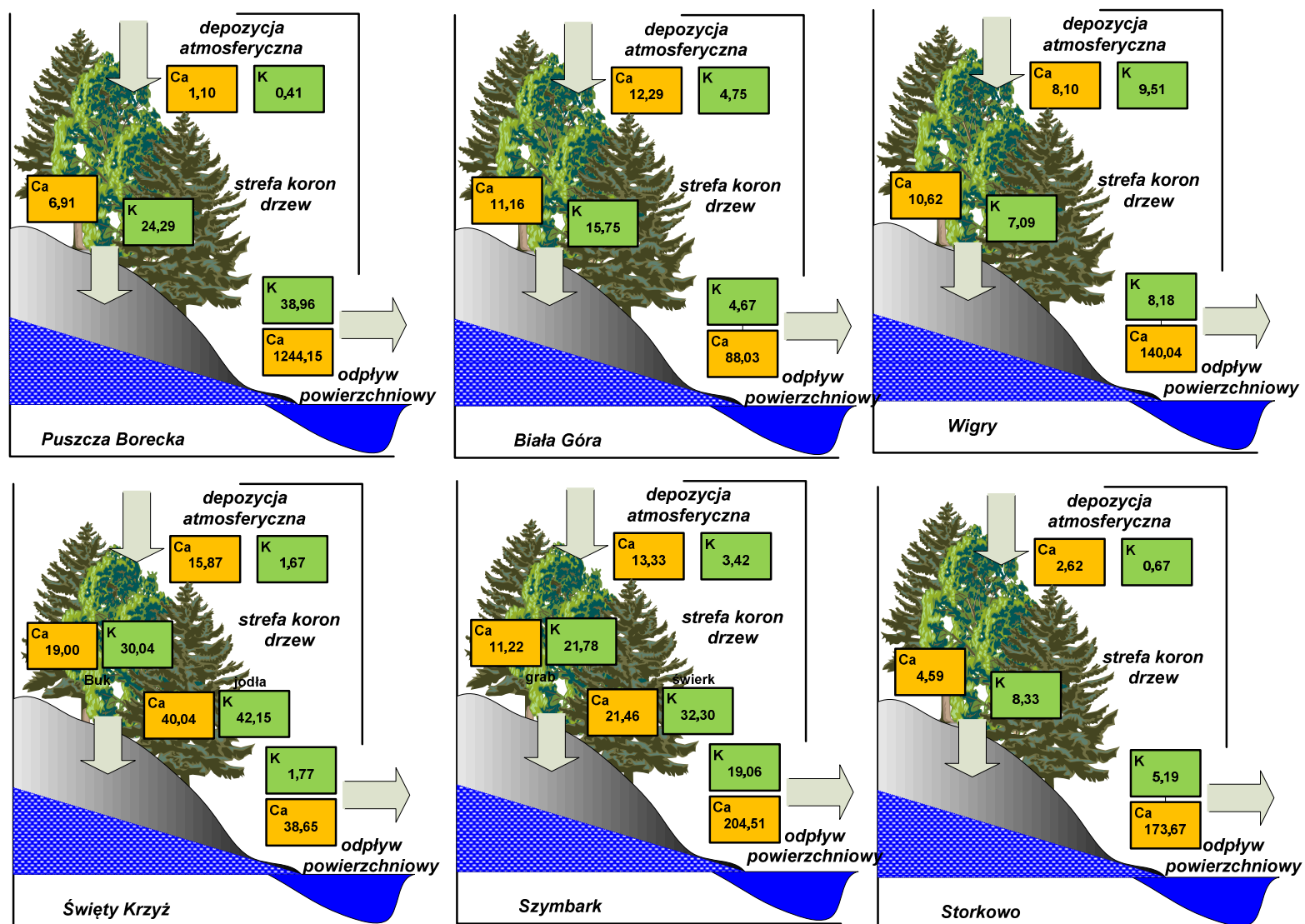
Zmienność czasowa odprowadzanego ładunku poprzez odpływ korytowy uwarunkowana jest przede wszystkim warunkami hydrometeorologicznymi. Na rycinie 37 przedstawiono rozkład miesięczny ładunków jonów odprowadzanych z monitorowanych zlewni rzecznych, uwzględniono tylko te stacje, dla których były dostępne dane składu chemicznego wód rzecznych dla każdego miesiąca. Największy ładunek odprowadzany był w okresie występowania wezbrań, zwłaszcza o charakterze roztopowym. W skali całego roku hydrologicznego dla większości zlewni w strukturze odprowadzanego ładunku dominują wodorowęglany oraz jony wapniowe. Udział ładunku biogenów w odpływie rzeczonym jest zdecydowanie mniejszy w porównaniu do substancji, których pochodzenie jest efektem działających w zlewni procesów denudacyjnych.

Na rycinie 38 przedstawiono rozkład miesięczny ładunków biogenów (azotanów, siarczanów i fosforanów) dla wybranych zlewni rzecznych na tle ich stężeń i średniego miesięcznego przepływu. Obecność biogenów w spływie jonowym jest skorelowana czasowo z okresami występowania wysokich stanów w korytach rzecznych. Wówczas to 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.

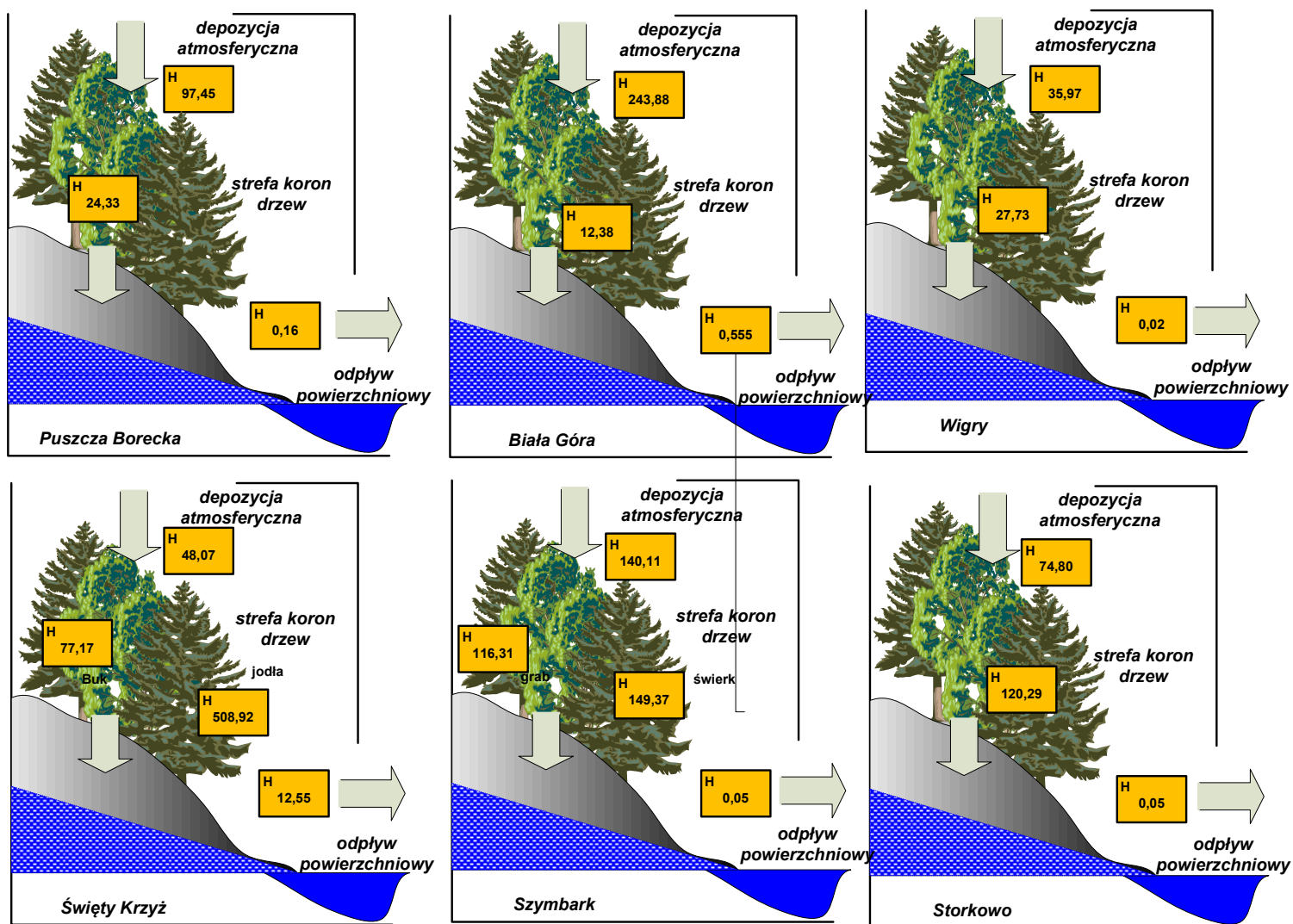
Wartość ładunku odprowadzanego poprzez system korytowy zestawiono z wartością depozycji atmosferycznej na terenie otwartym oraz pod koronami drzew. Zestawienie obejmuje przepływ azotu (suma azotu azotanowego i amonowego), siarki siarczanowej, wapnia oraz potasu i jonów wodorowych. Wybrano pierwiastki, które są istotne dla funkcjonowania geoekosystemu zlewni rzecznej. Zestawienie sporządzono dla zlewni rzecznych dla których dostępne były ładunki w opadzie atmosferycznym, opadzie podkoronowym i odpływie rzeczonym. Należy pamiętać, że prezentowane schematy przepływu pierwiastków przez geoekosystem zlewni rzecznej cechują znacznym uproszczeniem.



Ryc. 39. Przepływ siarki i azotu w wybranych geosystemach w roku hydrologicznym 2009 . Ładunki w kg/ha/rok.



Ryc. 40. Przepływ wapnia i potasu w wybranych geosystemach w roku hydrologicznym 2009 . Ładunki w kg/ha/rok.



Ryc. 41. Przepływ jonów wodorowych w wybranych geosystemach w roku hydrologicznym 2009 . Ładunki w g/ha/rok.

Uzyskane schematy przepływu pierwiastków przez wybrane geoeosystemy pozwalają wyróżnić: bilans ujemny w przypadku wapnia i siarki, bilans zrównoważony lub ujemny dla potasu i azotu oraz dla wszystkich stacji bilans ujemny dla jonów wodorowych (ryc. 39,40,41). Należy nadmienić, że w roku hydrologicznym 2009 w przypadku stacji Puszcza Borecka obliczone ładunki w odpływie powierzchniowym znacząco odbiegają od wartości uzyskanych dla pozostałych stacji. Jest to efekt ekstremalnie wysokich przepływów, które notowano szczególnie w półroczu letnim na obszarze zlewni Jeziora Łękuk. Uzyskane wartości ładunków potwierdzają, że azot należy do tych pierwiastków, które są zatrzymywane z geoeosystemach. Dla większości stacji odprowadzany ładunek azotu był mniejszy lub porównywalny z ładunkiem tego pierwiastka wnoszonym do podłoża z opadami atmosferycznymi (ryc. 39). Wyniki badań 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 już zatrzymywany w geoeosystemie 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. W porównaniu do azotu siarka jest pierwiastkiem o bilansie ujemnym – ładunek siarki odprowadzany z geoeosystemu przewyższa ładunek wprowadzany z opadem atmosferycznym (ryc. 39). 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 retencji w badanych geoeosystemach. W porównaniu do siarki, ładunek wapnia odprowadzany poprzez odpływ powierzchniowy wielokrotnie przekracza wartości depozycji atmosferycznej, szczególnie na obszarach młodoglacjalnych, gdzie gleby charakteryzują się obecnością węglanu wapnia, a zawartość wapnia w wodach opadowych jest znikoma (Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry) (ryc. 40). Potas, jest pierwiastkiem, który jest intensywnie włączany do obiegu w procesach wymiany jonowej pomiędzy opadem a powierzchnią roślin. Depozycja potasu pod koronami drzew wielokrotnie przekracza ładunki tego pierwiastka obserwowane na terenie otwartym. Dodatni bilans potasu to efekt zarówno procesów biologicznych związanych z zatrzymywaniem tego pierwiastka w biomasie oraz adsorpcji przez minerały ilaste.

W przypadku wszystkich badanych zlewni rzecznych jony wodorowe charakteryzują się bilansem dodatnim. Są one neutralizowane przede wszystkim w glebie, stąd ładunek odprowadzany ze zlewni jest nieporównywalnie mniejszy niż wartość depozycji atmosferycznej. Wyjątek stanowi stacja na Świętym Krzyżu, która charakteryzuje się ograniczonymi właściwościami buforowymi gleby w zakresie kwaśnym.

BIOINDYKACJA

Bioindykacja jest jedną z podstawowych metod oceny stanu środowiska przyrodniczego na podstawie reakcji wybranych elementów biologicznych geosystemów, czułych na zmiany bilansu energii, biogenów i substancji toksycznych. W ramach grupy programów biotycznych 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 ocenę zmian zachodzących w obrębie podstawowych komponentów abiotycznych geosystemów.

W roku hydrologicznym 2009 programy biotyczne były prowadzone na wszystkich stacjach.

Jednym z programów, 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).

Na obszarze zlewni jeziora Łękuk monitoring porostów nadrzewnych realizowano na 9 stanowiskach pomiarowych. Monitoringiem objętych było siedem gatunków porostów, które reprezentowały różne formy morfologiczne (tab. 8). Liczba gatunków na poszczególnych stanowiskach kształtowała się na poziomie od jednego do pięciu. Porostem, który charakteryzował się największą frekwencją wystąpień na stanowiskach pomiarowych była tarczownica bruzdkowana (*Parmelia sulcata*), którą stwierdzono na pięciu stanowiskach. Natomiast najrzadziej występowała mąkla tarniowa (*Evernia prunastri*) oraz odnożyca mączasta (*Ramalina farinacea*). Na żadnym stanowisku nie odnotowano wystąpienia mąklika otrębiastego, którego plechy obserwowano w latach 2001 i 2005. Uwzględniając wszystkie stanowiska łącznie największą powierzchnię zajmowała, analogicznie jak w roku 2008, otwornica gorzka (*Pertusaria Amara*), następnie tarczownica bruzdkowana (*Parmelia sulcata*) oraz rozsypek srebrzysty (*Phlyctis argena*) (Śnieżek i in. 2010).

Zestawiając wyniki badań wykonanych w roku 2008 i w obecnie analizowanym na czterech stanowiskach z dziewięciu uzyskana liczba gatunków oraz wartości powierzchni plech były zbliżone, natomiast na trzech stanowiskach stwierdzono wyraźny wzrost powierzchni zajmowanej przez plechy porostów (Śnieżek i in. 2010). Spowodowane to było przede wszystkim ekspansją na tych stanowiskach otwornicy gorzkiej, tarczownicy bruzdkowanej oraz rozsypka srebrzystego. Zarówno rozsypek srebrzysty oraz otwornica gorzka reprezentują porosty o plechach skorupiastych, które są najbardziej odporne na zanieczyszczenie powietrza oraz uszkodzenia mechaniczne. Stąd wykazują najlepszą kondycję oraz największą ekspansję na terenie zlewni Jeziora Łękuk (Śnieżek i in. 2010). W

przypadku dwóch stanowisk stwierdzono wyraźny spadek w relacji do roku 2008. Spowodowane to jest wycofaniem się tarczownicy bruzdkowanej na jednym ze stanowisk oraz słabej kondycji pustułki pęcherzykowatej na drugim stanowisku.

Tab. 8. Gatunki porostów monitorowane na stacjach ZMŚP.

nazwa polska	nazwa łacińska	stacja					
		Puszcza Borecka	Wigry	Storkowo	Koniczynka	Požary	Św. Krzyż
włostka brązowa (K)	<i>Bryoria fuscescens</i>		+				
mąkla tarniowa (K)	<i>Evernia prunastri</i>	+	+	+	+	+	
pustułka pęcherzykowata (L)	<i>Hypogymnia physodes</i>	+	+	+	+	+	+
przystrumycznik pustułkowy (L)	<i>Hypotrachyna revoluta</i>		+				
przylepka okopcona (L)	<i>Melanelia fuliginosa</i>	+	+	+			
tarczownica bruzdkowana (L)	<i>Parmelia sulcata</i>	+	+	+	+	+	
otwornica gorzka (S)	<i>Pertusaria amara</i>	+	+	+			
rozsypek srebrzysty (S)	<i>Phlyctis argena</i>	+	+	+			
płucnik modry (L)	<i>Platismatia glauca</i>		+				
mąklik otrębiasty (K)	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	+	+	+		+	
odnożyca mączysta (K)	<i>Ramalina farinacea</i>	+	+	+			
brodaczką kępkowa (K)	<i>Usnea hirta</i>		+				
tarczownica pogięta (L)	<i>Parmelia submontana</i>			+			

forma morfologiczna:

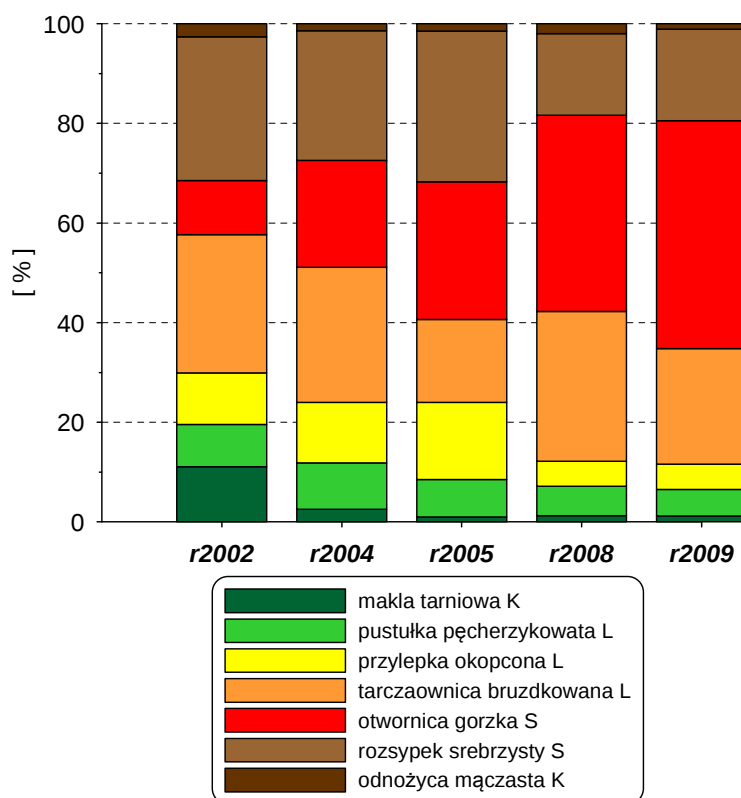
S – plecha skorupiasta

L – plecha listkowata,

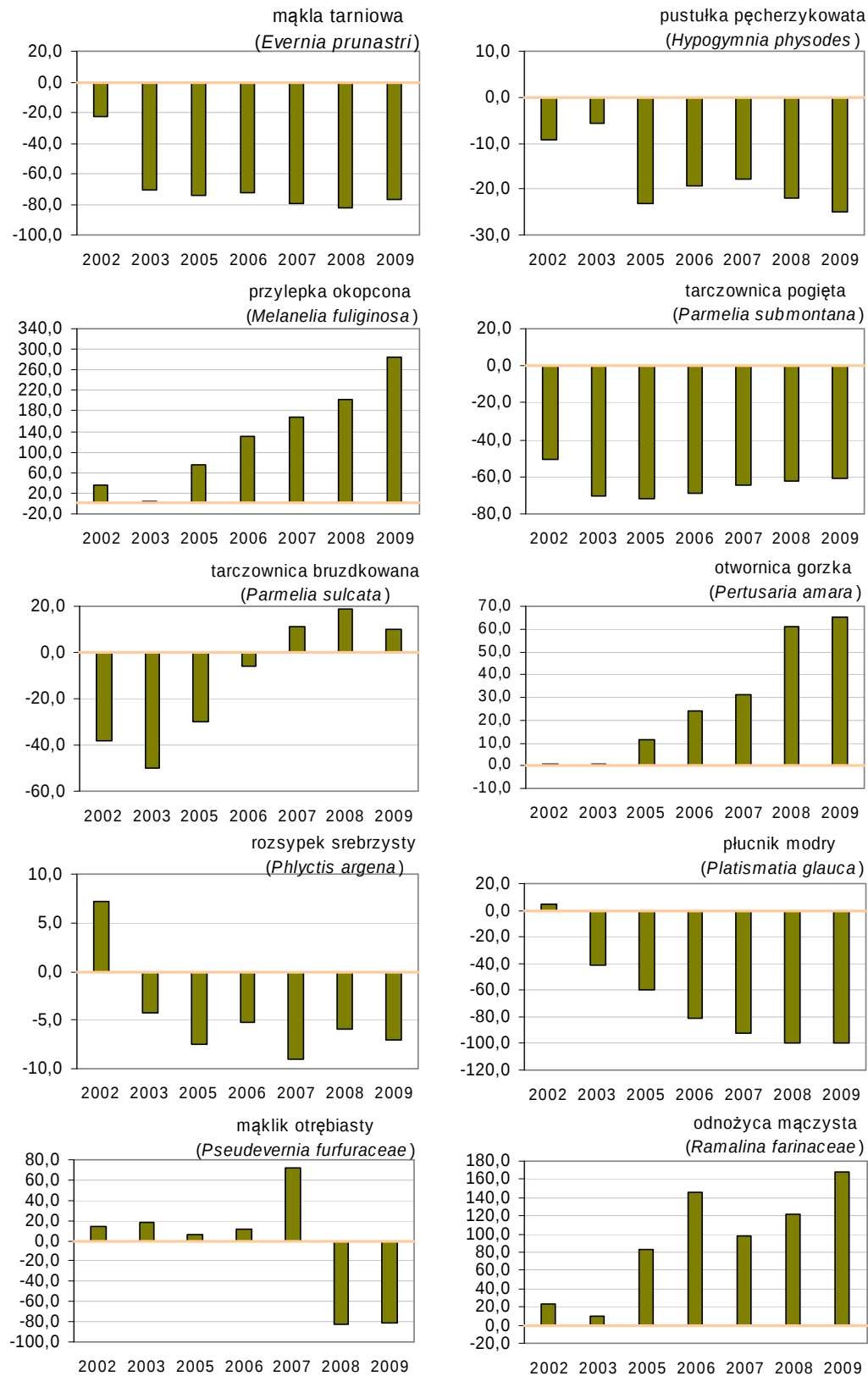
K – plecha krzaczkowata

Uwzględniając wyniki monitoringu porostów na terenie stacji Puszcza Borecka w ostatnich latach zaznacza się zmniejszenie powierzchni porostów o budowie krzaczkowatej: mąkli tarniowej i odnożycy mączastej (ryc. 42). Są to gatunki, które są najbardziej wrażliwe na obecność zanieczyszczeń w atmosferze oraz uszkodzenia mechaniczne. Na obecnym etapie badań trudno jest stwierdzić, który z tych czynników jest odpowiedzialny za spadek powierzchni plech wymienionych porostów (Śnieżek i in. 2010).

Na obszarze zlewni górnej Parsęty (stacja Storkowo) monitoring prowadzony jest od 2001 roku na dziewięciu stanowiskach pomiarowych. Uzyskane wyniki potwierdzają stały przyrost powierzchni plech porostów skorupiastych (otwornica gorzka). Z gatunków listkowatych największą dynamiką wzrostu charakteryzuje się przylepka okopcona (*Melanelia fuliginosa*), której wzrost powierzchni odnotowano na wszystkich stanowiskach (Domańska 2010). Od roku 2001 powierzchnia zajmowana przez ten gatunek wzrosła niemal czterokrotnie. W przypadku innego gatunku, należącego również do grupy porostów listkowatych – pustulki pęcherzykowatej (*Hypogymnia physodes*), odnotowano regresję na 3 z 6 stanowisk, które zajmowała (Domańska 2010). Analizowany rok był również okresem, w którym ten gatunek porostu zajmował najmniejszą powierzchnię od początku prowadzenia badań (ryc. 43).

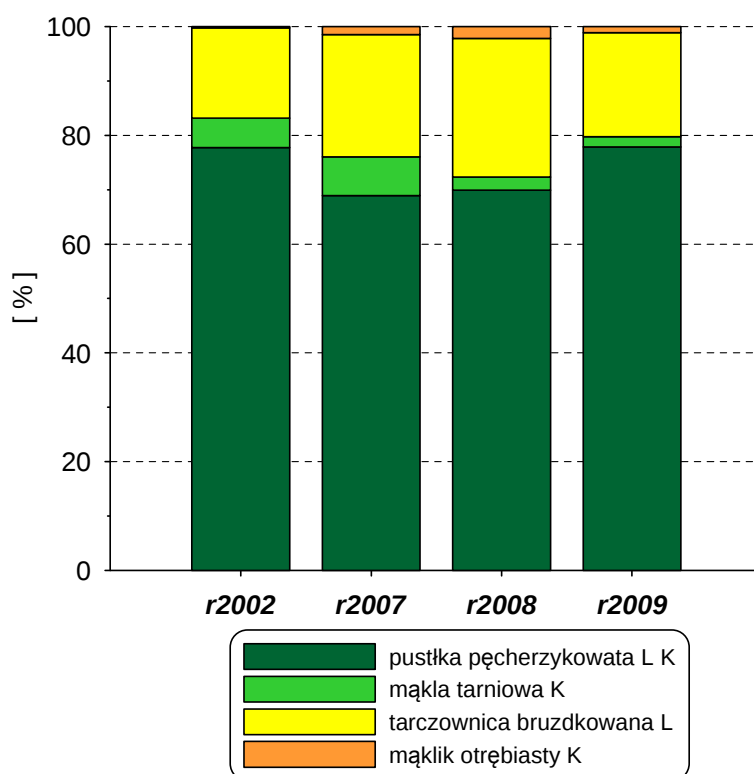


Ryc. 42. Procentowy udział powierzchni plech monitorowanych gatunków porostów w roku 2002, 2004, 2005, 2008 oraz 2009. Stacja Puszcza Borecka.
K- porost krzaczkowaty, L – listkowaty, S – skorupiasty



Ryc. 43. Zmiany powierzchni plech porostów na wszystkich stanowiskach monitoringowych w latach 2002 – 2009 (wartości wyrażone w % w stosunku do stanu zerowego – pierwszy rok obserwacji wartość 0%) (autor: Domańska 2010).

W grupie porostów krzaczkowatych, które są najmniej odporne na obecność zanieczyszczeń w powietrzu zanotowano przyrosty powierzchni zajmowanej przez plechy odnożycy mączastej (*Ramalina farinacea*), która w porównaniu do roku 2008 zwiększyła swoją powierzchnię o 17% (Domańska 2010). Również dwa pozostałe gatunki: mąkla tarniowa i mąklik otrębiasty powiększyły swoją powierzchnię w porównaniu do roku 2008, należy jednak pamiętać, że ich plech od momentu rozpoczęcia badań uległy redukcji 4 i 5 krotnie (Domańska 2010).



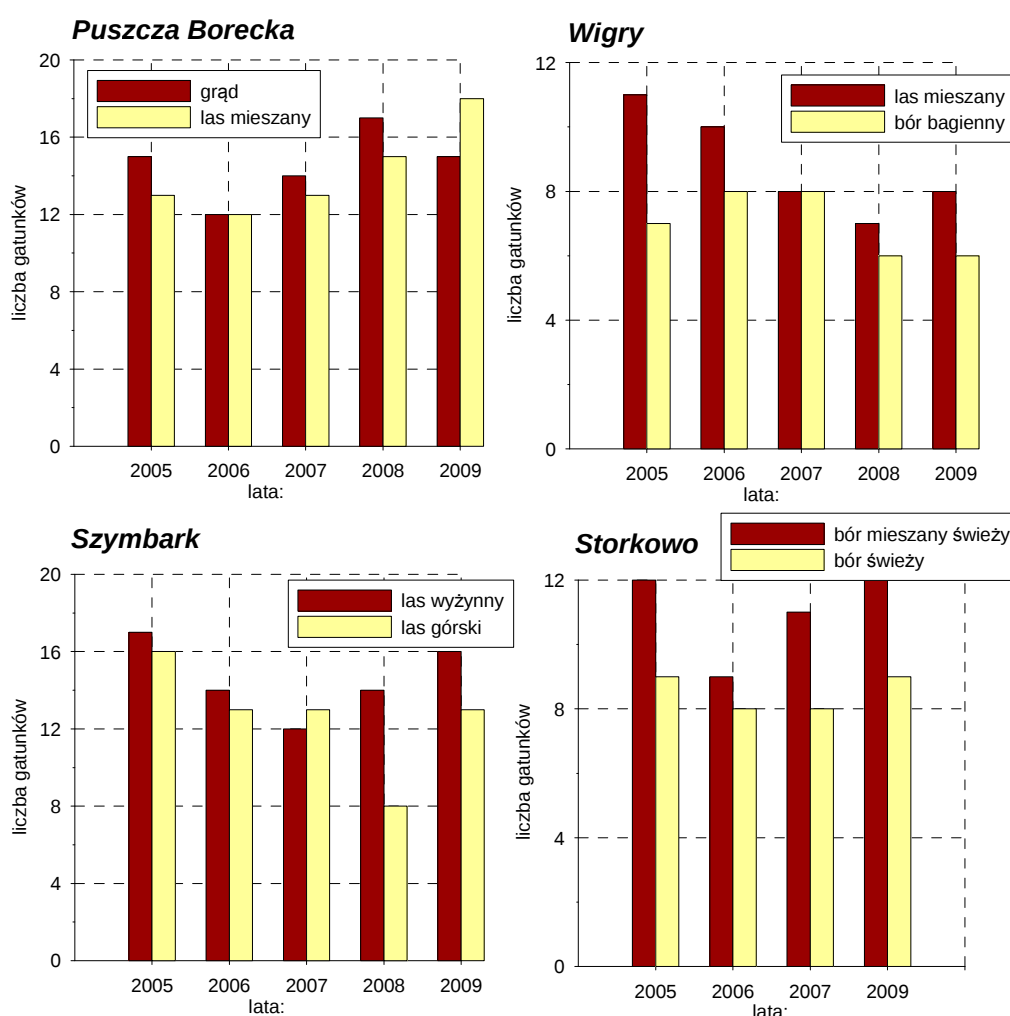
Ryc. 44. Procentowy udział powierzchni plech monitorowanych gatunków porostów w roku 2002, 2007, 2008 oraz 2009. Stacja Pożary
K- porost krzaczkowaty, L – listkowaty

Na terenie zlewni Kanału Olszowieckiego (stacja Pożary) monitoring porostów prowadzono na 10 stanowiskach. Badaniami objętych było 4 gatunki: pustłka pęcherzykowata, która występowała na wszystkich stanowiskach, mąkla tarniowa, porost krzaczkowaty, który był reprezentowany 4 stanowiskach, tarczownica bruzdkowana, porost listkowaty, który był obecny na 4 stanowiskach oraz mąklik otrębiasty, porost krzaczkowaty, obecny na dwóch stanowiskach. Największą powierzchnię zajmowała pustłka pęcherzykowata – ponad 77% całkowitej powierzchni zajmowanej przez wszystkie gatunki (ryc. 44).

W roku 2009 pomiar powierzchni porostów na Świętym Krzyżu przeprowadzono na 6 stanowiskach, monitoringiem objęty był jeden gatunek: pustłka pęcherzykowata

(*Hypogymnia physodes*). Uzyskane wyniki potwierdzają, że w porównaniu do roku 2008 na 4 stanowiskach nastąpił spadek zajmowanej powierzchni przez porosty, w przypadku dwóch i wzrost. Całkowita powierzchnia plech porostu *Hypogymnia physodes* w porównaniu do roku 2008 uległa zmniejszeniu.

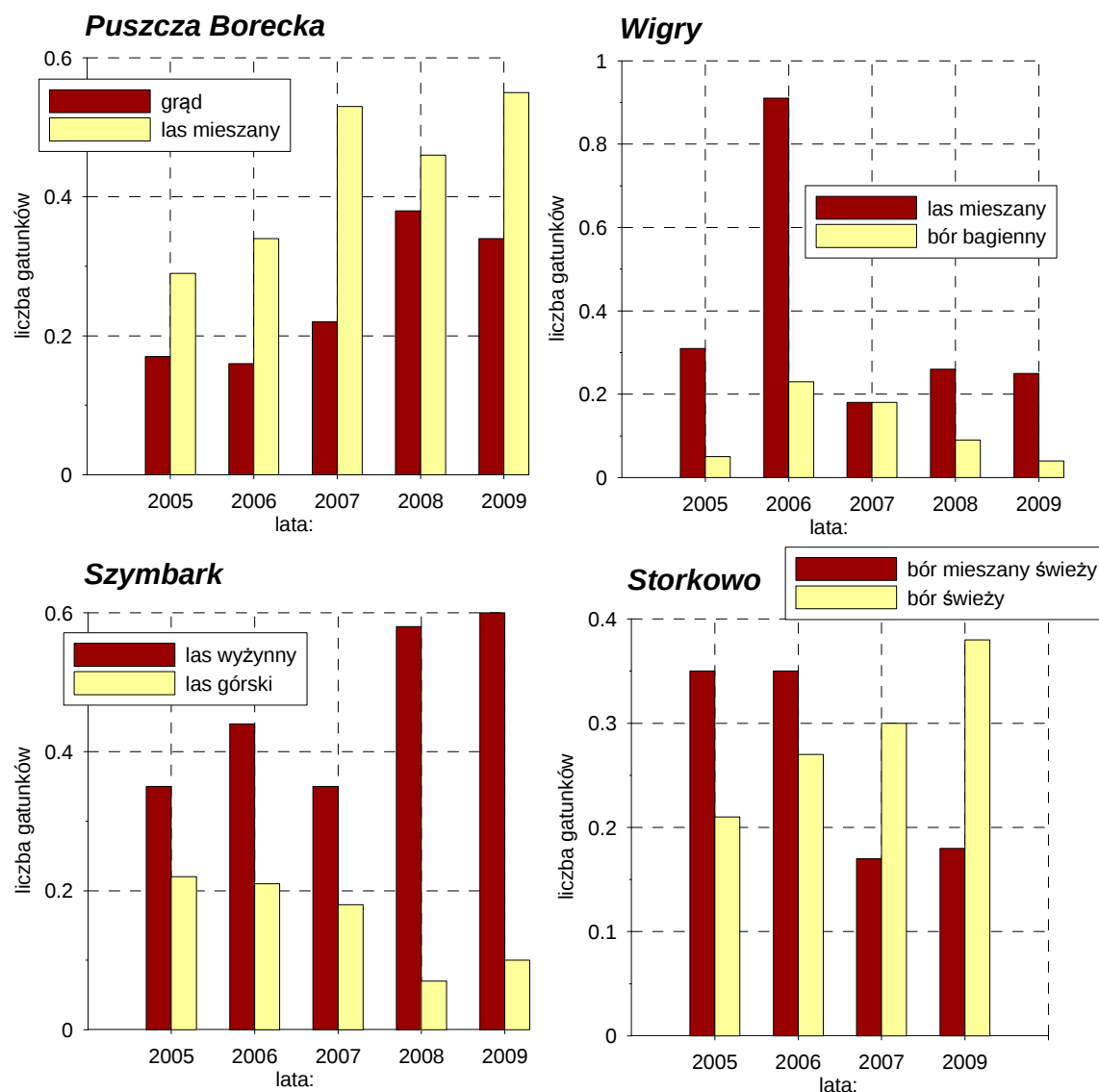
Podstawowym celem programu fauna epigeiczna jest wykorzystanie bezkręgowców, jako bioindykatorów zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym. Bogactwo gatunków, różnorodność związków i zależności łączących je z innymi organizmami, a także obecność we wszystkich typach środowiska lądowego pozwala wykorzystać bezkręgowce, jako wskaźniki zmian zachodzących w badanych geosystemach. Monitoring chrząszczy z rodziny biegaczowatych *Carabidea* na stacjach rozpoczęto w roku 2004. Gatunki biegaczowatych monitorowane na stacjach bazowych zamieszczono w tabeli 9.



Ryc. 45. Liczba gatunków odłowionych w ramach programu fauna epigeiczna.

Na obszarze stacji Puszcza Borecka badania fauny biegaczowatych prowadzono w dwóch typach siedliskowych lasu: w grądzie oraz lesie mieszanym. Wskaźnik łowności kształtował się na poziomie 0,34 oraz 0,55 odpowiednio: w grądzie i lesie mieszanym. W

okresie wegetacyjnym odłowiono 1232 osobników należących do 15 gatunków w przypadku pierwszego badanego siedliska oraz 765 osobników, które reprezentowały 18 gatunków biegaczowatych w lesie mieszanym (ryc. 45). Zestawienie liczebności gatunków zgrupowania biegaczowatych dla dostępnych lat dla obu siedlisk zmienia się w niewielkim stopniu. W strukturze troficznej w grądzie dominowały duże zoofagi (83,52% zgrupowania), małe zoofagi (16,35%) oraz hemizoofagi (0,13%). Analogiczna struktura troficzna występowała w lesie mieszanym.



Ryc. 46. Rozkład wskaźnika łowności dla wybranych siedlisk leśnych.

W stacji Białą Góra rok 2009 był pierwszym okresem realizacji monitoringu fauny bezkręgowej. Połowy biegaczowatych prowadzono w siedlisku lasu mieszanego świeżego. Ogółem odłowiono 285 osobników należących do 6 gatunków. Całą odłowioną populację reprezentowały zoofagi duże.

Na obszarze zlewni górnej Parsęty (stacja Storkowo) odłów osobników z rodziny biegaczowatych prowadzono w dwóch siedliskach leśnych: borze świeżym oraz borze mieszanym świeżym. W pierwszym z nich odłowiono 859 osobników – wskaźnik łowności wyniósł 0,38 osobnika na pułapkę (ryc. 46). Odłowione osobniki należały do 9 gatunków. W strukturze troficznej przeważały zoofagi duże. W borze mieszanym wskaźnik łowności wyniósł 0,18 osobnika na pułapkę. W całym okresie badawczym odłowiono ogółem 405 osobników z rodziny *Carabidae*. Stwierdzono występowanie 12 gatunków. W strukturze troficznej zdecydowanie dominowały duże zoofagi, które stanowiły 98,27% odłowionych osobników. Zaledwie 1,48% stanowiły zoofagi małe. Zanotowano obecność hemizoofagów reprezentowanych przez 1 gatunek.

Tab. 9. Gatunki biegaczowatych monitorowane na poszczególnych stacjach.

Nr katalogowy (kod)	Gatunek	Puszcza Borecka	Wigry	Storkowo	Biała Gór	Szymbark
13	<i>Carabus coriaceus</i> L.	+		+	+	
17	<i>C. violaceus</i> L.	+	+	+	+	+
20	<i>C. auronitens</i> Fabr.					+
26	<i>C. granulatus</i> (L.)	+		+		
28	<i>C. cancellatus</i> Ill.	+				+
30	<i>C. arcensis</i> Herbst				+	
32	<i>C. scheidleri</i> Panz.					+
35	<i>C. nemoralis</i> O.F. Müll.	+	+	+		
36	<i>C. hortensis</i> L.	+	+	+	+	+
40	<i>C. linnaei</i> Duft.			+		+
41	<i>Cychrus attenuatus</i> (Fabr.)					+
42	<i>Cychrus caraboides</i> (L.)	+	+	+	+	
48	<i>Leistus piceus</i> Fröl.					
55	<i>Nebria brevicollis</i> (Fabr.)	+		+		+
211	<i>Patrobus atrorufus</i> (Stroem)	+				
280	<i>P. oblongopunctatus</i> (Fabr.)	+	+	+		+
281	<i>P. niger</i> (Schall.)	+	+	+	+	+
	<i>P. melanarius</i>		+			
282	<i>P. vulgaris</i> (L.)	+				+
	<i>P. strenuus</i>					
286	<i>P. nigrita</i> (Fabr.)	+				
290	<i>P. strenuus</i> (Panz.)	+				
301	<i>P. burmeisteri</i> Heer					+
307	<i>Abax carinatus</i> (Duft.)					+
308	<i>A. ovalis</i> (Duft.)					+
309	<i>A. ater</i> (Pill. Et Mitt.)					+
310	<i>A. parallelus</i> (Duft.)					+
311	<i>Abax schüppeli</i> (Germ.)					+

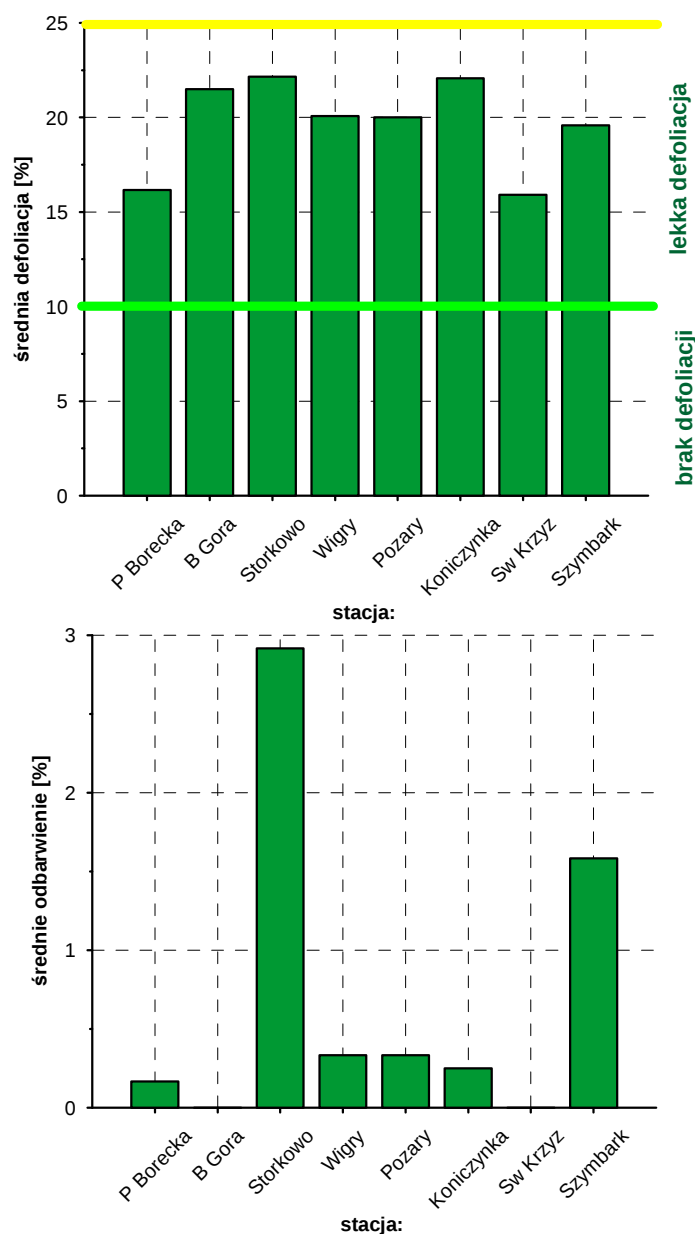
Nr katalogowy (kod)	Gatunek	Puszcza Borecka	Wigry	Storkowo	Biała Góra	Szymbark
316	<i>Molops piceus</i> (Panz.)					+
340	<i>Agonum mülleri</i> (Herbst)	+				
343	<i>A. Viduum</i> (Panz.)	+				
348	<i>A. assimile</i> (Payk.)	+				
409	<i>H. rufipes</i> De Geer			+		
423	<i>Harpalus latus</i> (L.)	+		+		+

W zlewni Czarnej Hańczy monitoring fauny epigeicznej prowadzono w dwóch siedliskach: w borze bagiennym i lesie mieszanym. W borze bagiennym w roku hydrologicznym 2009 odłowiono 85 chrząszczy należących do 6 gatunków. Wskaźnik łowności wyniósł 0,04. W strukturze troficznej dominowały duże zoofagi, które stanowiły 91,8% wszystkich odłowionych biegaczowatych. Resztę stanowiły małe zoofagi, które reprezentowały 8,2% odłowionych biegaczowatych. Określony dla boru bagienno-wskaźnik różnorodności Shannona-Wienera wyniósł 1,792, a równomierności 0,100. W lesie mieszanym w roku 2009 odłowiono łącznie 565 chrząszczy należących do 8 gatunków. Średnia łowność biegaczowatych wyniosła 0,25 osobnika na pułapkę. W strukturze troficznej przeważały zoofagi duże, które stanowiły 93,6% odłowionych chrząszczy oraz małe zoofagi (6,4%). W lesie mieszanym wskaźnik różnorodności Shannona-Wienera wyniósł 2,079, natomiast równomierności 0,313.

Na terenie zlewni Bystrzanki monitoring fauny epigeicznej prowadzono w dwóch typach siedliskowych lasu: lesie wyżynnym i górskim. W roku 2009 w lesie wyżynnym odłowiono 1650 osobników należących do 16 gatunków. Wskaźnik łowności dla tego siedliska wyniósł 0,60 osobnika na pułapkę. W lesie górskim odłowiono 224 osobniki należące do 13 gatunków, przy wskaźniku łowności wynoszącym 0,10. W obu siedliskach w strukturze troficznej dominowały zoofagi duże, które stanowiły ponad 74% odłowionych osobników. Zoofagi małe stanowiły 25,3% populacji w lesie wyżynnym i 23,7% w lesie górskim. Hemizoofoagi stanowiły odpowiednio 0,07% w lesie wyżynnym oraz 0,45% w lesie górskim.

Monitoring 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.

Na każdej powierzchni zbadano 20 drzew pod względem ubytku aparatu asymilacyjnego (defoliacja) oraz stopnia odbarwienia. 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 (ryc. 47). W przypadku odbarwienia wartości średnie dla wszystkich stacji zaliczają się do klasy braku odbarwienia. Uwzględniając jednak pojedyncze drzewa największy odsetek drzew zaklasyfikowanych do klasy odbarwienia 2-4 wystąpił na obszarze stacji Storkowo (5%) oraz Puszcza Borecka (5%). W przypadku stacji: Wigry, Biała Góra, Święty Krzyż wszystkie badane drzewa zostały zaliczone do klasy 0 – brak odbarwienia.



Ryc. 47. Średnia defoliacja i odbarwienie – powierzchnie Instytutu Badawczego Leśnictwa – rok 2009.

Ponadto na stałych powierzchniach obserwacyjnych wyróżniono 5 klas uszkodzenia drzewostanów, które stanowią kombinację klasy defoliacji i klasy obumierania aparatu asymilacyjnego:

0 – klasa bez uszkodzeń

1 – klasa ostrzegawcza

2 – klasa lekkich i średnich uszkodzeń

3 – klasa dużych uszkodzeń

4 – drzewa martwe

Tab. 10. Udział procentowy drzew w klasach uszkodzeń (na podstawie powierzchni stałych Instytutu Badawczego Leśnictwa)

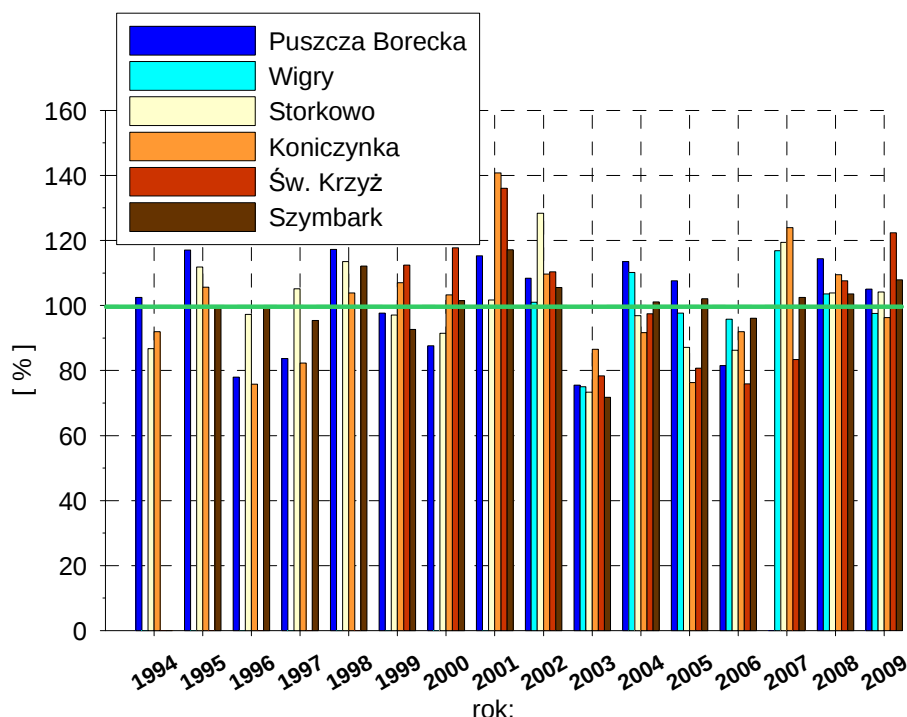
stacja	Nr powierzchni	Nazwa RDLP lub Parku Narodowego	Udział procentowy drzew w klasach uszkodzenia		
			0	1	2-4
Storkowo	1200385	RDLP Szczecinek	20,00	80,00	0,00
	1220401	RDLP Szczecinek	5,00	45,00	50,00
	1240404	RDLP Szczecinek	30,00	50,00	20,00
	Razem		18,33	58,33	23,33
Wigry	1441423	RDLP Białystok	30,00	60,00	10,00
	1441463	Wigierski P.N.	20,00	65,00	15,00
	1461461	RDLP Białystok	0,00	80,00	20,00
	Razem		16,67	68,33	15,00
Pożary	0901043	RDLP Łódź	10,00	55,00	35,00
	0901123	Kampinoski P.N.	45,00	45,00	10,00
	0921143	Kampinoski P.N.	30,00	40,00	30,00
	Razem		28,33	46,67	25,00
Koniczynka	1060742	RDLP Toruń	10,00	60,00	30,00
	1060764	RDLP Toruń	5,00	75,00	20,00
	1080803	RDLP Toruń	5,00	90,00	5,00
	Razem		6,67	75,00	18,33
Szymbark	0161303	RDLP Kraków	30,00	45,00	25,00
	0161323	RDLP Kraków	35,00	40,00	25,00
	0201303	RDLP Kraków	55,00	20,00	25,00
	Razem		40,00	35,00	25,00
Biała Góra	1220041	Woliński P.N.	15,00	50,00	35,00
	1220063	RDLP Szczecinek	40,00	35,00	25,00
	1240043	Woliński P.N.	25,00	50,00	25,00
	Razem		26,67	45,00	28,33
Puszcza Borecka	1401283	RDLP Białystok	10,00	70,00	20,00
	1441264	RDLP Białystok	65,00	25,00	10,00
	1441283	RDLP Białystok	85,00	15,00	0,00
	Razem		53,33	36,67	10,00
Św. Krzyż	0501243	RDLP Radom	40,00	55,00	5,00
	0521225	RDLP Radom	0,00	80,00	20,00
	0521263	Świętokrzyski P.N.	50,00	45,00	5,00
	Razem		30,00	60,00	10,00

Analizując procentowy udział drzew w klasach uszkodzenia największy odsetek drzew (wartość średnia z 3 powierzchni badawczych) zaliczonych do klasy uszkodzeń 2-4 występuje w przypadku stacji Biała Góra (wyspa Wolin). Wysokie wartości tego wskaźnika uzyskano również na terenie Kampinoskiego Parku Narodowego (stacja Pożary) oraz stacji Koniczynka (tab. 10). Analizując dane dotyczące zarówno defoliacji, odbarwienia oraz uszkodzenia drzew należy uwzględnić fakt, że powierzchnie, na których wykonano badania w niektórych przypadkach położone są w znacznej odległości od stacji należących do sieci ZMŚP i wyniki nie muszą być reprezentatywne dla drzewostanów na terenach zlewni reprezentatywnych.

PODSUMOWANIE

W roku hydrologicznym 2009 program ZMŚP realizowany był na ośmiu stacjach bazowych reprezentujących różne strefy krajobrazowe kraju oraz poddane różnym presjom związanymi z działalnością człowieka.

Funkcjonowanie geoeosystemów uwarunkowane jest przede wszystkim dopływem energii słonecznej stąd tak istotne jest rozpoznanie warunków meteorologicznych.

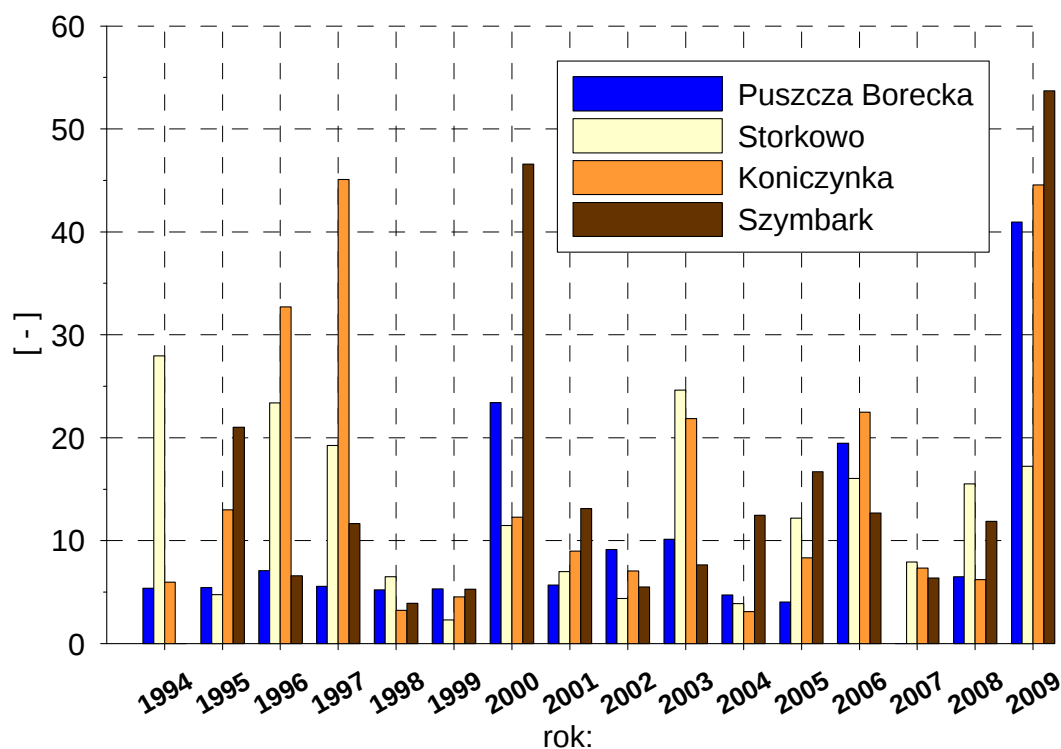


Ryc. 48. Rozkład rocznych sum opadów dla poszczególnych lat hydrologicznych, jako procent wartości z wielolecia.

dla P. Boreckiej, Storkowo, Koniczynki wartość z wielolecia obliczono dla okresu: 1994-2009, dla Szymbarku 1995-2009, Świętego Krzyża 1999-2009, Wigier 2002-2009. Wartość 0% oznacza brak danych.

Rok hydrologiczny 2009 pod względem warunków termicznych i opadowych był okresem normalnym dla większości stacji bazowych (ryc. 48). Roczne sumy opadów nie odbiegały znacząco do sum z wielolecia. Uwzględniając jednak rozkład współczynnika nieregularności opadów, który oddaje zróżnicowanie opadów w skali roku, uzyskane wartości w roku hydrologicznym 2009 są jednymi z największych od czasu prowadzenia badań w ramach programu ZMŚP (ryc. 49). Przyczyną z jednej strony są znikome sumy miesięczne opadów w kwietniu. Z drugiej strony w kolejnych miesiącach sumy miesięczne opadów przekraczały w przypadku niektórych stacji dwukrotnie wartości z wielolecia. W skali roku hydrologicznego zaznacza się wyraźna przewaga opadów półrocza letniego (V-X). Prawidłowość ta widoczna jest w przypadku wszystkich stacji bazowych. Miesiącami, kiedy sumy opadów były wyższe

od wartości przeciętnych były: maj, czerwiec oraz październik. Sumy miesięczne, które były niższe od wartości z wielolecia odnotowano w kwietniu (na wszystkich stacjach), styczniu, sierpniu oraz we wrześniu. W kwietniu suma miesięczna opadów na wszystkich stacjach nie przekraczała 30% wartości wielolecia, w przypadku Świętego Krzyża suma opadów w kwietniu stanowiła zaledwie 0,4% wartości wieloletniej dla tego miesiąca. Był to również rok o bardzo długim okresie bezdeszczowym, który objął niemalże cały kwiecień oraz początek maja.



Ryc. 49. Rozkład współczynnika nieregularności opadów atmosferycznych.

Analogicznie jak w przypadku roku 2008 notowano okres bez odpływu powierzchniowego. Przypadki takie miały miejsce w zlewni I rzędu w stacji Święty Krzyż zarówno w okresie półrocza zimowego oraz w okresie lata i na początku jesieni. Dla wartości odpływu powierzchniowego z monitorowanych zlewni rzecznych w roku hydrologicznym 2009 zasadnicze znaczenie miały roztopy w okresie wiosennym, bardzo niskie opady w kwietniu oraz maksimum opadowe przypadające na czerwiec – lipiec. Wartość odpływu wód powierzchniowych z badanych zlewni w roku 2009 była niższa niż w roku 2008. Stwierdzenie to nie dotyczy stacji Puszcza Borecka dla której rok hydrologiczny 2009 był okresem rekordowych przepływów na terenie zlewni Jeziora Łękek (odpływ z jeziora nr 100). Pomimo przeciętnej sumy rocznej opadów atmosferycznych współczynnik odpływu osiągnął wartość 296,5%, przy wartościach średnich rocznych dla wielolecia 2003-2008 wynoszących od 7,0 do 33,2%. W skali całego roku wysokość odpływu wyniosła 2072,1mm przy sumie rocznej opadów wynoszącej 698,9mm. Tak ekstremalnie wysokie wartości odpływu są efektem

działalności licznie występujących na terenie zlewni Jeziora Łękuk bobrów stale blokujących odpływ wody z jeziora i prób likwidowania zbudowanych tam (Śniezek i in. 2010).

W przeciwieństwie do opadów atmosferycznych, których suma półrocza letniego zdecydowanie przewyższała wysokość opadów w okresie zimowym, odpływ w półroczu zimowym przekraczał wartości notowane w pozostałej części roku. Należy jednak zaznaczyć, że dysproporcje pomiędzy półroczami w przypadku odpływu były znacznie mniejsze niż wartości uzyskane dla opadów atmosferycznych. W przypadku niektórych stacji (Puszcza Borecka, Pożary, Konieczynka) przeważał odpływ w półroczu letnim. Jest to przede wszystkim efekt deficytu opadów, który wystąpił w półroczu zimowy i ponad przeciętnych sum opadów atmosferycznych na początku lata.

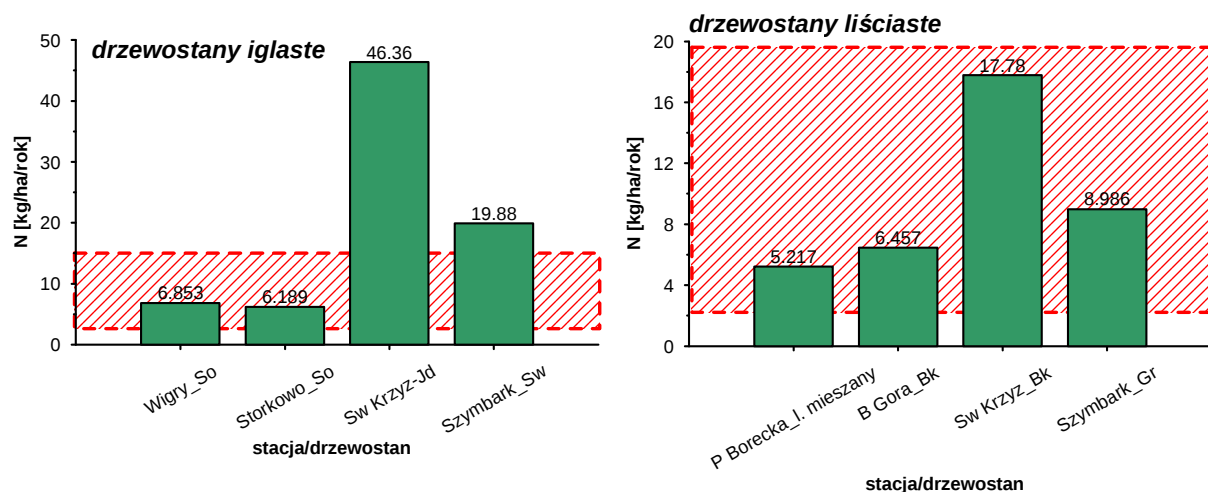
Analiza przepływów charakterystycznych I stopnia na tle wartości z wielolecia potwierdza, że analizowany rok poza stacją Puszcza Borecka nie odbiegał znacząco od wartości przeciętnych. Przepływ minimalne i maksymalne roczne (NQ i WQ) nie przekroczyły wartości skrajnych dla wielolecia (NNQ i WWQ), również wartości średnie roczne (SQ) były zbliżone do wartości z wielolecia (SSQ).

Do podstawowych czynników, które decydują o obiegu materii w geosystemie należy zaliczyć ilość i jakość depozycji atmosferycznej. Powietrze jest jednym z elementów środowiska przyrodniczego, które podlega silnej antropopresji. Zawarte w nim związki chemiczne wskutek opadania i osadzania są wchłaniane i akumulowane przez pozostałe komponenty środowiska. 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 2009 największą wartość depozycji odnotowano na terenie stacji Pożary i jest to przede wszystkim efekt wysokich stężeń jonów obecnych w opadach atmosferycznych, natomiast w mniejszym stopniu ich sumy rocznej. Mniejsze ładunki jonów odnotowano w przypadku dwóch stacji położonych na terenach górskich (Święty Krzyż, Szymbark). Dla których wartość depozycji atmosferycznej należy łączyć zarówno z wysokimi sumami opadów atmosferycznych i stężeniami jonów w opadach. Wysoką wartość depozycji atmosferycznej odnotowano również w Stacji Biała Góra położonej na wyspie Wolin. W tym przypadku wysoka wartość ładunku jonów docierających do podłoża z opadem atmosferycznym jest związana z dopływem aerozoli pochodzenia morskiego. Potwierdza to struktura depozycji atmosferycznej, w której dominują jony chlorkowe oraz sodowe.

Uzyskane wyniki badań prowadzonych w ekosystemach leśnych potwierdzają, że parametry ilościowe jak i jakościowe opadu atmosferycznego w kontakcie z powierzchnią roślin ulegają transformacji. Pomimo strat wody w procesie intercepcji wielkość depozycji

jonów pod koronami drzew przewyższa tą obserwowaną na terenie otwartym. Zwiększona depozycja jest przede wszystkim efektem procesów adsorpcji zanieczyszczeń atmosferycznych przez rośliny. Procesy te są szczególnie intensywne na obszarach o znacznym poziomie zanieczyszczenia powietrza i dotyczą przede wszystkim siarczanów, chlorków, jonów amonowych, sodu, wapnia. Zwiększony dopływ zanieczyszczeń atmosferycznych z opadem do podłoża występuje szczególnie w ekosystemach leśnych położonych na obszarach górskich. Jest to efekt dodatkowego dopływu zanieczyszczeń do podłoża związany z zjawiskiem wychwytywania kropel i zawartych w nich zanieczyszczeń w sytuacji, gdy korony drzew znajdują się powyżej podstawy chmur. Wskazuje na to stosunkowo bardzo wysoka wartość przepuszczalności drzewostanu jodłowego na Świętym Krzyżu, w konsekwencji zjawisko to przyczynia się do zwiększonego dopływu zanieczyszczeń do podłoża.

Zwiększony dopływ zanieczyszczeń, w tym związków kwaśnych, do gleby w ekosystemach leśnych skutkuje zakwaszeniem gleb i uwalnianiem toksycznego glinu do roztworu glebowego. Przyjmuje się, że podstawową przyczyną zakwaszenia gleby w ekosystemach leśnych jest zakłócenie obiegu podstawowych pierwiastków w tym azotu i siarki spowodowane między innymi zwiększoną depozycją tych związków z atmosfery. Jeżeli zwiększony depozyt atmosferyczny tych pierwiastków nie zostaje zagospodarowany w procesie biosyntezy następuje nieodwracalne zakwaszanie gleby oraz eksport kwasów do wód podziemnych i powierzchniowych. W ekosystemach zrównoważonych coroczny dopływ pierwiastków z opadem organicznym określa w przybliżeniu pulę pierwiastków będącą w obiegu biologicznym. Uwzględniając to założenie oraz wyniki dopływu pierwiastków z opadem organicznym oraz z opadem podkoronowym w dwóch ekosystemach leśnych (drzewostan mieszany w Puszczy Boreckiej i drzewostan iglasty w zlewni Czarnej Hańczy) można przyjąć, że dopływ atmosferyczny siarki znacznie przekracza potrzeby pokarmowe roślin względem tego pierwiastka. W porównaniu do siarki dopływ azotu z opadem atmosferycznym jest znacznie mniejszy niż jego obieg wewnętrzny w ekosystemie. Związki siarki są, zatem podstawowym czynnikiem zakwaszającym pokrywę glebową w badanych ekosystemach leśnych. Według Nilssona i Grennfelta (1988) jako krytyczny ładunek N dla lasów iglastych przyjmowana jest wartość z przedziału od 3 do 15kg/ha/rok, natomiast dla lasów liściastych od 3 do 20kg/ha/rok.



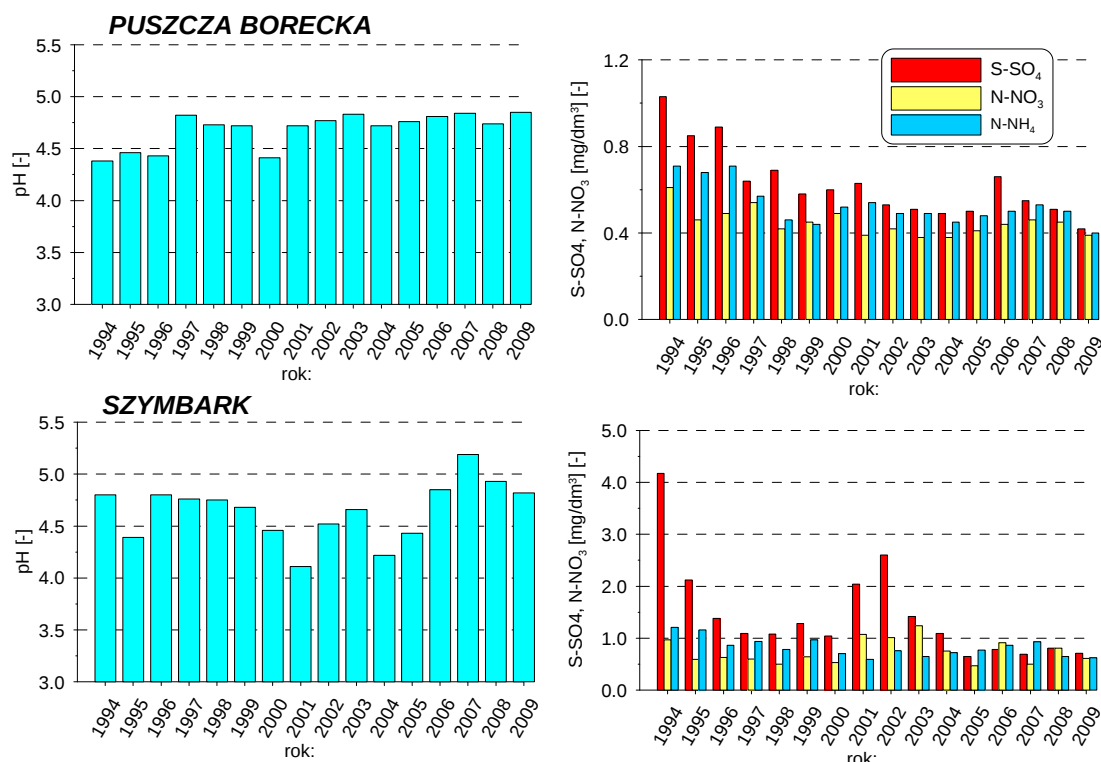
Ryc. 50. Rozkład ładunku azotu dla wybranych zbiorowisk leśnych na tle ładunku krytycznego.

Uzyskany w roku hydrologicznym 2009 łączny ładunek azotu azotanowego i amonowego w ekosystemach leśnych wskazuje, że tylko w przypadku drzewostanu jodłowego na Świętym Krzyżu oraz świerkowego w Szymbarku depozycja z opadem podkoronowym tego pierwiastka przekracza wartość ładunku krytycznego, ustalonego dla lasów iglastych (ryc. 50). Dla drzewostanów liściastych otrzymane wartości mieszczą się granicach ładunków dopuszczalnych.

Jednym z potencjalnych zagrożeń, na jakie narażone są geosystemy Polski jest zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego oraz związane z tym zakwaszanie środowiska przyrodniczego. Otrzymane w roku 2009 średnie ważone roczne wartości pH opadów atmosferycznych w większości przypadków pozwoliły zaklasyfikować opady atmosferyczne do klasy o pH lekko obniżonym i normalnym. Tylko w przypadku dwóch stacji uzyskane wartości pH pozwalają zaliczyć wody opadowe do klasy o pH lekko podwyższonym. Są to stacje Pożary i Koniczynka, które są położone w zasięgu oddziaływania aglomeracji miejskich Warszawy i Torunia, co może mieć wpływ na wzrost pH dla wymienionych stacji w porównaniu do pozostałych zlewni reprezentatywnych.

W celu określenia kierunków zmian wartości odczynu oraz stężeń siarki siarczanowej i azotu azotanowego w opadach atmosferycznych przeprowadzono analizę trendów w oparciu o wykorzystanie nieparametrycznego testu Manna-Kendalla w wersji uwzględniającej wpływ na wartość stężeń i pH wysokości opadów atmosferycznych. Testowanie przeprowadzono dla trzech stacji bazowych: Puszczy Boreckiej, Storkowa oraz Szymbarku, wykorzystując dane pomiarowe z okresu 1995 – 2009 (ryc. 51). Wybór tych stacji było podyktowany zarówno dostępnością wieloletnich serii pomiarowych oraz różnym stopniem zanieczyszczenia powietrza na ich terenie. Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 11. W przypadku wszystkich stacji, uwzględnionych w testowaniu, otrzymane wartości statystyki

Manna-Kendall potwierdzą wzrost wartości pH opadów atmosferycznych. Poza stacją w Szymbarku uzyskane trendy są statystycznie istotne. Wzrost wartości odczynu opadów atmosferycznych jest przede wszystkim związany z spadkiem emisji związków siarki w kraju.

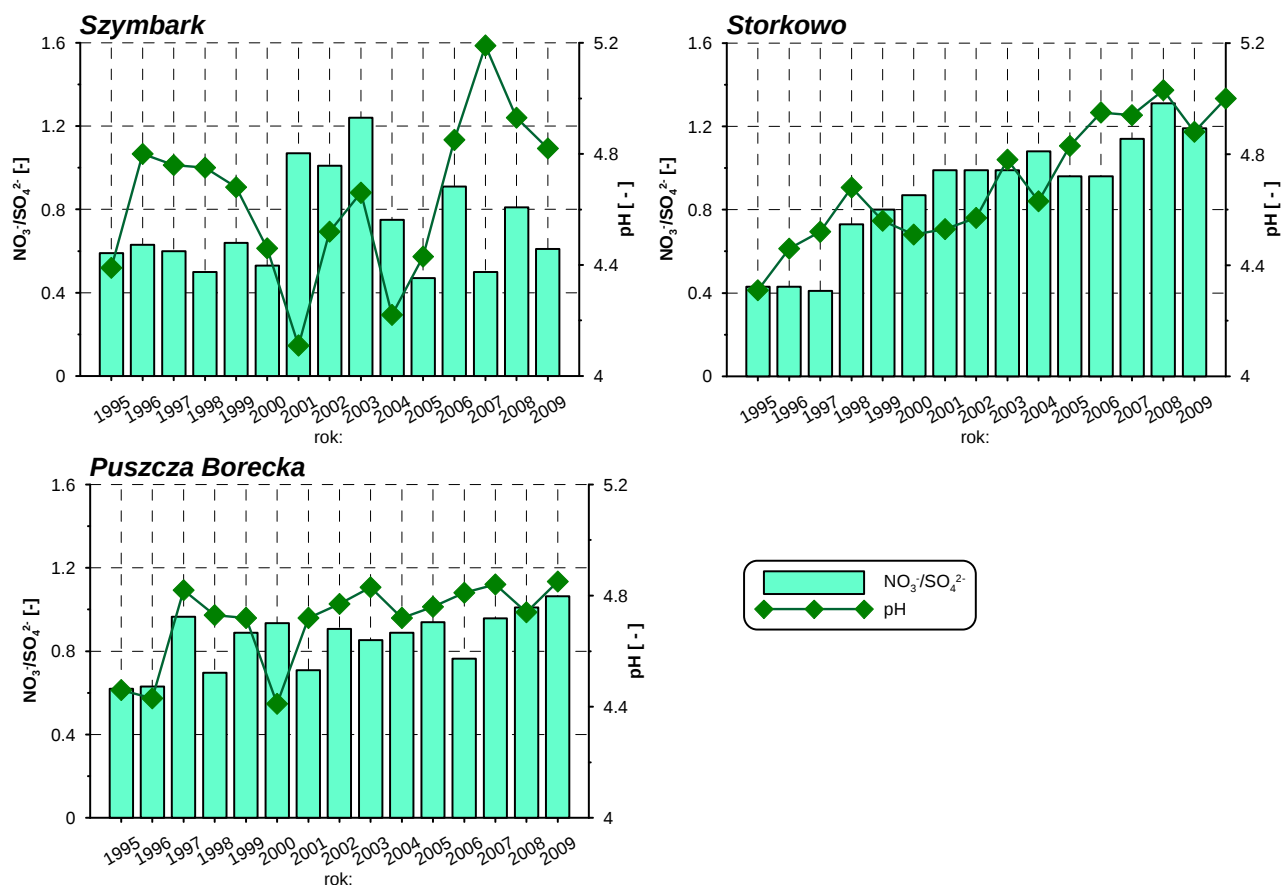


Ryc. 51. Rozkład pH opadów atmosferycznych na tle stężeń azotu azotanowego i amonowego oraz siarki siarczanowej dla dostępnych lat badawczych.

Tab. 11. Wyniki testu Manna-Kendalla dla wybranych parametrów fizykochemicznych opadów atmosferycznych.

parametr	stacja	n	MK _{STAT}	α	kierunek trendu
pH	Puszczą Borecką	179	2,845	0,004	(+)
	Storkowo	180	3,060	0.002	(+)
	Szymbark	180	1,719	0.085	0
S-SO ₄	Puszczą Borecką	180	-2,912	0,003	(-)
	Storkowo	180	-3,821	0.000	(-)
	Szymbark	180	-2,713	0.006	(-)
N-NO ₃	Puszczą Borecką	180	-1,950	0,051	(-)
	Storkowo	176	-2.542	0.011	(-)
	Szymbark	177	1,374	0,169	0
N-NH ₄	Puszczą Borecką	180	-1.989	0.047	(-)
	Storkowo	179	-3.430	0.000	(-)
	Szymbark	177	-1,946	0.051	0

na podstawie danych z lat: 1995 – 2009, pogrubioną czcionką zaznaczono trend statystycznie istotny, α ≤ 0,05



Ryc. 52. Stosunek średnich ważonych stężeń (w eq dm^{-3}) jonów NO_3^- i SO_4^{2-} w opadach atmosferycznych dla dostępnych lat obserwacji.

Zawartość azotanów w opadach wskazuje trendy malejące (Storkowo, Puszcza Borecka) lub nieistotny statystycznie trend rosnący (stacja Szymbark) (ryc. 51). W porównaniu do rozkładu stężeń siarki siarczanowej uzyskane statystyki dla azotu azotanowego mają również mniejszą moc statystyczną.

Niewątpliwie coraz większe znaczenie w kształtowaniu poziomu kwasowości wód opadowych ma obecność w powietrzu utlenionych związków azotu NO_x pochodzących z emisji antropogenicznej. Potwierdza to również wartości wskaźnika udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów (ryc. 52). Wskaźnik ten, który jest stosunkiem ekwiwalentnych stężeń azotanów do siarczanów w opadach, w ostatnich latach dla niektórych stacji bazowych jest większy od jedności. Wskazując tym samym na przewagę NO_x w zakwaszaniu wód opadowych (Szpikowska 2010).

Otrzymane wyniki monitoringu porostów nadrzewnych wskazywałyby na pogorszenie jakości powietrza atmosferycznego, szczególnie na terenach o niewielkim stopniu antropopresji (Puszcza Borecka, Wigry, Storkowo). W ostatnich lat obserwuje się zwiększenie powierzchni porostów skorupiastych kosztem gatunków o plechach krzaczkowatych, które są najmniej odporne na zanieczyszczenia obecne w atmosferze.

Przyczyną takiego stanu rzeczy nie jest wzrost stężeń zanieczyszczeń obecnych w powietrzu ale niekorzystna zmiana warunków siedliskowych (nasłonecznienia, wilgotności powietrza, długie okresy bez opadów, zmiana struktury użytkowania terenu).

Analiza struktury ładunku, który zostaje odprowadzony poza obszar badanych zlewni rzecznych, potwierdza, że największy udział w materiale rozpuszczonym mają wodorowęglany oraz jony wapniowe. W przypadku większości monitorowanych zlewni rzecznych odprowadzony w roku hydrologicznym 2009 ładunek substancji rozpuszczonych był zbliżony do wartości notowanych w roku 2008. Wyjątek stanowią dwie stacje: Puszcza Borecka (zlewnia Jeziora Łękuk) oraz Pożary (zlewnia Kanału Olszowieckiego) w przypadku, których uzyskane wartości są zdecydowanie większe i spowodowane przez działalność bobrów na terenie wymienionych zlewni. Zmienność czasowa odprowadzanego ładunku poprzez odpływ korytowy uwarunkowana jest przede wszystkim warunkami hydrometeorologicznymi. Największy ładunek odprowadzany był w okresie występowania wezbrań, zwłaszcza o charakterze roztopowym.

Jednym z potencjalnych zagrożeń dla ekosystemów rzecznych badanych w ramach ZMŚP są zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego i bytowego. 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 przykorytowej. Wyniki testowania statystycznego mającego na celu określenie kierunku oraz istotności trendów w rozkładzie stężeń azotanów i fosforanów w odpływie rzeczny potwierdzają obecność tendencji rosnących w przypadku zawartości azotanów w wodach Bystrzanki (stacja Szymbark) i Czarnej Hańczy (stacja Wigry). Testowanie przeprowadzono dla trzech zlewni: Bystrzanki, Parsęty oraz Czarnej Hańczy, dla których dostępne są najdłuższe serie pomiarowe stężeń wybranych biogenów. Uzyskane wyniki dla Parsęty, zarówno w przypadku stężeń azotanów i fosforanów, wskazują na trendy malejące. W przypadku wód rzecznych monitorowanych na stacji Święty Krzyż jednym z głównych zagrożeń są wysokie stężenia glinu w dopływie rzeczny. Średnie roczne stężenie tego metalu w punkcie wodowskazowym C6 wyniosło $0,87\text{mg/dm}^3$. Obecność glinu w odpływie rzeczny jest związana z procesami jego uwalniania w glebie i migracją do wód powierzchniowych. Pomimo zmniejszenia depozycji związków zakwaszających z atmosfery procesy te są nadal obecne w glebie.

Analizując przepływ pierwiastków przez poszczególne komponenty środowiska przyrodniczego zlewni rzecznych monitorowanych w ramach programu ZMŚP można

stwierdzić, że są to geoekosystemy o znacznej odporności na procesy zakwaszania. Poza stacją na Świętym Krzyżu, ładunek jonów wodorowych odprowadzany z odpływem rzeczny jest wielokrotnie mniejszy w porównaniu do depozycji atmosferycznej. Azot, pierwiastek który odgrywa coraz większą rolę w kształtowaniu równowagi kwasowo-zasadowej wód opadowych, w większości przypadków ma bilans zrównoważony lub ujemny. Ponadto obserwowane trendy w rozkładzie jego stężeń w wodach rzecznych wskazują, że może on stanowić zagrożenie dla badanych geoekosystemów, związane z procesami eutrofizacji wód powierzchniowych.

Podsumowując uzyskane wyniki badań wykonanych w roku hydrologicznym 2009 należy stwierdzić, że w większości przypadków zlewnie rzeczne monitorowane w ramach programu ZMŚP charakteryzuje się dobrym stanem środowiska przyrodniczego. Zaobserwowane zmiany mają przeważnie charakter naturalny i na ogół nie wpływają negatywnie na stan środowiska przyrodniczego. Istotne dla funkcjonowania wybranych geoekosystemów Polski w analizowanym okresie były warunki opadowe i termiczne, w tym przede wszystkim bardzo nieregularny rozkład opadów atmosferycznych w ciągu roku. W przypadku dwóch stacji (Puszcza Borecka, Pożary) w rozpatrywanym okresie dla obiegu materii w zlewni zasadnicze znacznie miała działalność bobrów na ich terenie. Do najważniejszych presji, jakim poddawane są badane geoekosystemy należy zaliczyć zanieczyszczenie powietrza (Święty Krzyż, Szymbark, Koniczynka, Pożary), dopływ do wód powierzchniowych zanieczyszczeń rolniczych i bytowych (Szymbark, Wigry, Koniczynka), prowadzoną gospodarkę leśną (Storkowo) oraz ruch turystyczny (Białą Górą, Pożary).

LITERATURA

- Kijowska M., Bochenek, W.,** 2010: Raport z pomiarów wykonywanych w ramach Zintegrowanego Środowiska Przyrodniczego w zlewni Bystrzanki (Beskid Niski) w roku hydrologicznym 2009. Stacja Bazowa ZMŚP, Stacja Naukowo-Badawcza IGiPZ PAN.
- Józwiak, M., Kozłowski, R., Wróblewski, H., Józwiak M. A., Szwed M.,** 2010: Raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji Bazowej Święty Krzyż w roku hydrologicznym 2009. Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Kochanowskiego, Stacja Monitoringu, Kielce. Ms.
- Kejna, M.,** (Red.), 2010: Raport za rok hydrologiczny 2009. Stacja Bazowa ZMŚP w Koniczynie k. Torunia. UMK, WBiNoZ. Toruń. Ms.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Zb.,** 1994: Dynamika transportu fluwialnego jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań

- Kostrzewski, A., Mazurek, M., Stach, A.,** 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego - Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań.
- Kostrzewski A., Domańska M., Dmowska A., Kruszyk R., Szpikowska G., Szpikowski J., Zwoliński Zb.,** 2010: Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2009. Storkowo – Poznań
- Kostrzewski A., Tylkowski J., Samołyk M.,** 2010: Sprawozdanie z realizacji programu badawczo-pomiarowego ZMŚP w Stacji Bazowej Biała Góra w roku 2009. Biała Góra. Ms.
- Krzysztofiak, L. (Red.),** 2010: raport o stanie środowiska przyrodniczego Stacji bazowej Wigry w roku hydrologicznym 2009. Krzywe. Ms.
- 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: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, A. Kostrzewski (Red.). Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, s. 113-119.
- Mazurek M.,** 2000: Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). Wyd. UAM, Poznań
- Olszewski A., (red.):** 2010. Raport o stanie środowiska przyrodniczego zlewni ZMŚP „Pożary” w roku 2009. Kampinoski Park Narodowy, Granica. Ms.
- Śnieżek, T. (red.),** 2010: Ocena Stanu Środowiska Stacji Bazowej Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2009. Instytut Ochrony Środowiska. Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, Warszawa. Ms.