

**Zintegrowany Monitoring
Środowiska Przyrodniczego
w Polsce**

Raport 2004

Poznań 2005

Dr Robert Kruszyk

Instytut Paleogeografii i Geoekologii

Uniwersytet im. A. Mickiewicza

Dzięgielowa 27, 61-680 Poznań

rlk@amu.edu.pl

WPROWADZENIE

Stan geoeosystemów Polski stanowi coroczne sprawozdanie z realizacji badań prowadzonych w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na siedmiu 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 obiegu energii i 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 geoeosystemu.

Prezentowane wyniki badań oparte są na rocznych raportach Stacji Bazowych ZMŚP (Bochenek 2005, Jóźwiak (red.) 2005, Kejna (red.) 2005, Kostrzewski (red.) 2005, Krzysztofiak (red.) 2005, Śnieżek (red.) 2005, Wierzbicki 2005).

W pierwszej części opracowania przedstawiona zostanie charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni reprezentatywnych oraz zakres i metody badań realizowanych na Stacjach Bazowych w roku 2004. Część analityczna raportu obejmuje: charakterystykę warunków hydrometeorologicznych, obieg materii w ujęciu zlewni rzecznej i w układzie pionowym: atmosfera – roślinność – gleba. W części tej zostaną również przedstawione wyniki badań programów biotycznych opartych na wykorzystaniu bioindykatorów.

Prowadzony monitoring środowiska przyrodniczego w ramach ZMŚP ma charakter badań kompleksowych, traktujących środowisko przyrodnicze jako system. Wyniki wieloletnich pomiarów chemicznych, fizycznych i biologicznych charakteryzujące bardzo zróżnicowane geoeosystemy na terenie Polski pozwalają ustalić powiązania między poszczególnymi elementami środowiska przyrodniczego. Zgromadzone dane w powiązaniu z tworzoną dla Stacji Bazowych przestrzenną bazą danych umożliwiają wykorzystanie narzędzi o charakterze prognostycznym, mający za cel poznanie reakcji geoeosystemów przy zmiennych scenariuszach zmian klimatu, użytkowania terenu i obciążenia zanieczyszczeniami atmosferycznymi.

STACJE BAZOWE – CHARAKTERYSTYKA FIZJOGRAFICZNA OBSZARU BADAŃ¹

Zasadniczym elementem w strukturze organizacyjnej ZMŚP jest Stacja Bazowa w oparciu, o którą realizowany jest program ZMŚP. Należy zaznaczyć, że Stacja Bazowa to obszar zlewni reprezentatywnej z powierzchniami testowymi, stanowiskami pomiarowymi, profilami i transektami, obejmuje również laboratoria i budynki socjalne. Funkcjonujący obecnie system siedmiu Stacji Bazowych tworzy transekt południkowy, który ujmuje równoleżnikowy układ krajobrazów Polski (ryc. 1).



Ryc. 1. Lokalizacja Stacji Bazowych

Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

1 - Storkowo (Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań), 2 - Puszcza Borecka (Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa), 3 - Wigry (Wigierski Park Narodowy, Krzywe), 4 - Koniczynka (Uniwersytet im. M. Kopernika, Toruń), 5 - Pożary (Kampinoski Park Narodowy, Kampinos), 6 - Święty Krzyż (Akademia Świętokrzyska, Kielce), 7 - Szymbark (Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Kraków)

¹ opracowano na podstawie informacji zawartych w Raportach, witrynach WWW Stacji Bazowych oraz witryny WWW ZMŚP

Wśród zlewni badawczych ZMŚP są zlewnie: górnej Parsęty (Stacja Bazowa Storkowo), Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry) i jeziora Łękuk (Stacja Bazowa Puszcza Borecka), które stanowią nizinne, geoekosystemy młodoglacjalne w niewielkim stopniu przekształcone antropogenicznie.

Zlewnia górnej Parsęty 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. Zlewnia leży na północnym skłonie strefy marginalnej fazy pomorskiej zlodowacenia bałtyckiego. Rzeźba zlewni górnej Parsęty jest efektem złożonych procesów paleoglacjalnych lobu Parsęty, które następnie zostały przekształcone podczas holocenijskiego cyklu morfogenetycznego. Na współczesną rzeźbę składa się zróżnicowany zespół form: wzniesienia moreny kemowej, faliste równiny moreny dennej, formy szczelinowe, sandry, zagłębienia wytopiskowe. Z morfogenezą holocenijską związane są doliny rzeczne, rozcięcia erozyjne, zastoiska pojezierne, stożki napływowe oraz obszary torfowisk. Wśród utworów powierzchniowych dominują piaski, żwiry, gliny morenowe oraz osady stokowe i mineralno organiczne, na których wykształciły się gleby brunatne i płowe, rzadziej czarne ziemie i mady. Wśród zbiorowisk borowych dominującym typem są gleby rdzawe. Cechą charakterystyczną struktury użytkowania ziemi jest mozaikowy układ użytków, nawiązujący do głównych form rzeźby i litologii oraz gleb. W strukturze użytkowania ziemi zlewni górnej Parsęty grunty orne zajmują 43,4% powierzchni, lasy - 34,6%, użytki zielone - 15,4%. Powierzchnia zlewni górnej Parsęty, zamkniętej przekrojem hydrometrycznym w Storkowie na 13km długości, wynosi 74km².

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 zlewni eksperymentalnej zajmuje powierzchnię 7,44km². Litologia osadów powierzchniowych zdominowana jest przez piaski o różnej miąższości. Na ogół są to piaski luźne, piaski gliniaste lekkie oraz piaski gliniaste mocne. W dolinie rzeki zalegają piaski przykryte namułami rzecznyymi lub torfami. Na osadach tych wykształciły się gleby bielcowe, rdzawe, brunatne kwaśne a w dolinie Czarnej Hańczy występują gleby torfowe i murszowo-torfowe.

Pod względem klimatycznym zlewnia eksperymentalna znajduje się w regionie Mazursko-Podlaskim, pozostającym pod wpływem bloku kontynentalnego Eurazji. Z tego też powodu obszar ten ma najsurowsze warunki klimatyczne w nizinnej części kraju.



Fot. 1. Fragment doliny Czarnej Hańczy leżącej w granicach zlewni eksperymentalnej Stacji Bazowej Wigry

Tabela 1. Sieć monitoringu wód powierzchniowych w ramach ZMŚP (Ostrowski 1998)

Zlewnia	Powierzchnia [km ²]	Zlewnia dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny	Makroregion fizycznogeograficzny
Parsęta	74,0	Morze Bałtyckie	Pojezierze Drawskie	Pojezierze Zachodniopomorskie
Młyński Potok	3,9	Parsęta		
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

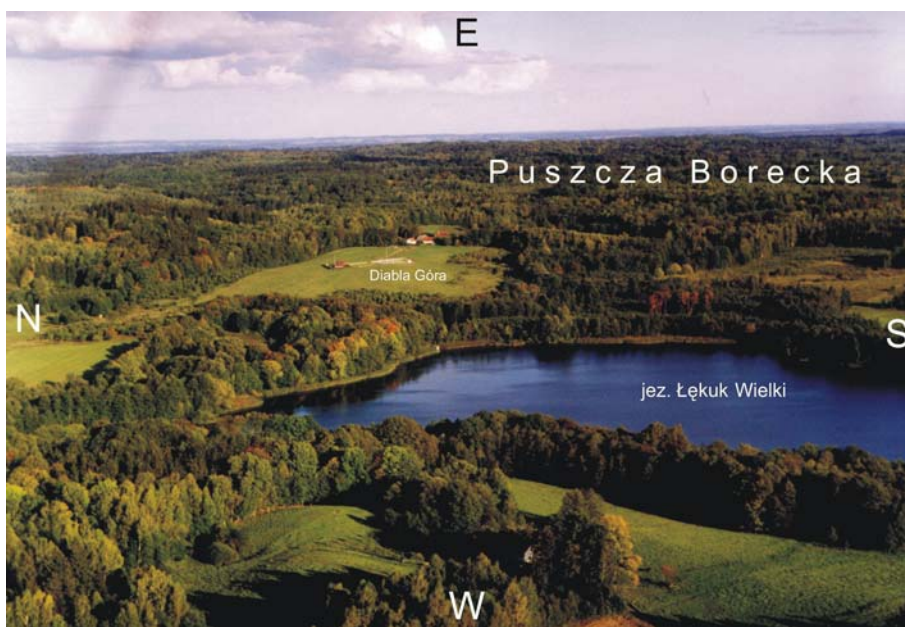
Tabela 2. Charakterystyka badanych powierzchni glebowych na Stacjach Bazowych ZMŚP

cecha	Storkowo, zlewnia Chwalimskiego Potoku	Puszcza Borecka, zlewnia jez. Łękuk	Wigry, zlewnia Czarnej Hańczy	Koniczynka, zlewnia Strugi Toruńskiej	Święty Krzyż, stok Łysej Góry	Szymbark, zlewnia Bystrzanki
typ gleby	gleby płowe zaciekowe, gruntowo-glejowe	gleby płowe zaciekowe opadowo-glejowe	gleby płowe (z)bielicowane	gleby płowe opadowo-glejowe	gleby brunatne kwaśne o różnym stopniu zbielicowania	gleby płowe zaciekowe opadowo-glejowe
gatunek gleby	pisaki gliniaste, płytkie do średnio głębokich zalegające na glinach piaszczystych lub glinach lekkich	piaski gliniaste płytkie do średnio głębokich zalegające na glinach lekkich lub średnich	piaski gliniaste lub słabogliniaste płytkie do średnio głębokich, zalegające na piaskach szkieletowych	gлина lekka	pyły, glina pylasta i piaszczysta z rumoszem skalnym	gliny piaszczyste, gliny lekkie, ciężkie, ility
warunki drenażu	dostateczne do dobrych	dobrze	nadmierne	średnio dobre	niedostateczne do dobrych	średnie
ekspozycja	NW	SE	SW	SW	SSW-NNE	SSW
użytkowanie terenu	użytek zielony	kompleks leśny	kompleks leśny	użytkowanie rolnicze	kompleks leśny	odłóg
pH w H ₂ O	5,31	4,54	4,58	6,48	3,72	5,73
pH w KCl	4,28	3,70	3,61	5,45	2,97	4,40
C org. [g*kg ⁻¹]	16,07	16,90	27,8	8,13	6,87	2,41 (%)

Stacja Bazowa Puszcza Borecka położona jest w zlewni jeziora Łękuk, w mezoregionie pojezierza Elckiego makroregionu Pojezierza Mazurskiego. Krajobraz zlewni jeziora Łękuk zdominowany jest przez bezodpływowe niecki, pagóry oraz strome zbocza. Kulminacje terenu zlewni stanowi wzgórze o wysokości 217,4m n.p.m. Gmina Kurlanki, na terenie, której znajduje się Stacja Bazowa Puszcza Borecka, ma charakter leśno-rolniczy. Grunty orne stanowią 20%, użytki zielone 13%, natomiast lasy 53%. W strukturze użytkowania ziemi znaczący udział mają nieużytki, które stanowią ok. 5,7% powierzchni gruntów. Zbiorowiska leśne zdominowane są przez świerk pospolity, który zwykle występuje z grabem, dębem szypułkowym, lipą drobnolistną oraz sosną zwyczajną. W przypadku zbiorowisk położonych na obszarach zabagnionych dominuje olcha czarna i jesion wyniosły.

Zlewnia Strugi Toruńskiej w Stacji Bazowej Koniczynka reprezentuje młodoglacjalny geoelement przeobrażony rolniczo. W krajobrazie zlewni dominują kompleksy pól uprawnych, na których prowadzona jest wielkołanowa i wysokotowarowa produkcja rolnicza. Cały obszar jest prawie bezleśny i silnie zmeliorowany, stopień zdrenowania oceniany jest na 50-80%. Powierzchnia zlewni reprezentatywnej wynosi 35,2km², najniższy punkt zlewni o wysokości 78,75m n.p.m. znajduje się w pobliżu wodowskazu Koniczynka a najwyższy o wysokości 101,4m n.p.m. położony jest na północ od jeziora Kamionkowskiego. Długość odcinka Strugi

Toruńskiej w obrębie zlewni reprezentatywnej wynosi 9,7km. W ukształtowaniu terenu zlewni dominuje płaska morena denną zlodowacenia bałtyckiego fazy poznańskiej rozcięta pasmem równiny wód roztopowych. Największą część zlewni zajmują grunty orne (86,6%), łąki (9,1%), zabudowa wiejska z ogrodami (2,5%) oraz parki i zadrzewienia śródpolne (1,8%).



Fot. 2. Krajobraz Stacja Bazowa Puszcza Borecka

Zlewnia Kanału Olszowieckiego położona jest w pasie rzeźby staroglacjalnej Puszczy Kampinoskiej, zajęta przez ekosystem bagiennie-łukowy w różnych fazach naturalnej sukcesji. Stacja Bazowa Pożary zlokalizowana jest na obszarze Kampinoskiego Parku Narodowego. Głównym obszarem badawczym jest zatorfiona kotlina, stale lub okresowo podtapiana, pokryta głównie nieleśnymi zespołami dawnych łąk i pastwisk. W przypadku zbiorowisk leśnych na omawianym obszarze dominują olsy typowe lub jesionowe. Gatunkiem panującym w zespołach leśnych jest brzoza oraz znacznie rzadsza olcha czarna. Zlewnia Pożary położona jest na holocenijskich utworach aluwialnych i eolicznych pradolin Wisły, reprezentowanych przez piaski rzeczne teras akumulacyjnych.

Stacja Bazowa Św. Krzyż obejmuje badania zlewnię leśno-rolniczą I rzędu w masywie Łysogór i została zlokalizowana na obszarze Świętokrzyskiego Parku Narodowego na Wyżynie Środkowomłopolskiej. Powierzchnia zlewni I rzędu wynosi 1,27km² i jest położona na wysokościach od 268 do 595m n.p.m. W układzie jednostek hydrogeologicznych centralna część Gór Świętokrzyskich, objęta badaniami w ramach ZMŚP położona jest w Regionie Świętokrzyskim, Podregionie Łysogórskim. Obszar ten charakteryzuje się występowaniem wód szczelinowych i porowo-szczelinowych w utworach dewonu, ordowiku i syluru. W osadach czwartorzędowych występują wody porowe. Z pasmowymi strukturami

pokryw stokowych – wietrzeniowej związana jest równoległa do stoku linijność ugrupowań struktury pokrywy glebowej. Układ pasmowy mają również występujące na tym obszarze siedliska lasu wyżynnego i górskiego. Największe znaczenie mają: małopolska odmiana subkontynentalnego lasu dębowo-grabowego, wyżynny jodłowy bór mieszany i bór mieszany sosnowo-dębowy.



Fot. 4. Krajobraz zlewni Pożary



Fot. 5. Krajobraz Stacji Bazowej Święty Krzyż

Obecnie zlewnia pozostaje w strefie oddziaływania lokalnych, jak i ponadregionalnych, emisji przemysłowych, co spowodowało już niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych, m.in. w drzewostanach jodłowych.

Stacja Bazowa Szymbark zlokalizowana w zlewni Bystrzanki, reprezentuje geoekosystem Karpat Fliszowych. Zlewnia eksperymentalna potoku Bystrzanka zajmuje powierzchnię 13km². Długość cieków głównych wynosi 7,1km. Zlewnia położona jest na granicy dwóch jednostek fizyczno-geograficznych Karpat Fliszowych: Beskidów i Pogórza Karpackiego.

Podstawową cechą klimatu omawianego obszaru jest piętrowość wynikająca ze zmian wysokości bezwzględnej. Średnio od 570m n.p.m. rozpościera się piętro umiarkowane ciepłe (średnia temp. powietrza 6-8°C), powyżej którego rozciąga się piętro umiarkowane chłodne (średnia temp. powietrza 4-6°C). Do pięter klimatycznych nawiązują piętra roślinne. Wyższe partie zlewni zajmuje buczyna karpacka z dominacją jodły i buka, natomiast partie pogórskie grąd z grabem, lipą, jaworem oraz jesionem. Większą część zlewni Bystrzanki zajmują różne podtypy gleb brunatnych. W strukturze użytkowania przeważają użytki rolne (51%), następnie lasy (36%) oraz powierzchnie zabudowane z sadami (10%) i pozostałe kategorie (4%).

ZAKRES REALIZOWANEGO PROGRAMU POMIAROWEGO, METODYKA TERENOWA I ANALITYCZNA

Rok 2004 był jedenastym rokiem realizacji programu ZMŚP na 7 Stacjach Bazowych. Na stacjach realizowano większość programów pomiarowych, których podstawowym celem jest rejestracja dopływu i dopływu energii i materii z badanych geosystemów (programy: A1 – Meteorologia, C1 – chemizm opadów atmosferycznych, F2 – wody podziemne oraz H1 wody powierzchniowe – rzeki). Programy te realizowane były na wszystkich Stacjach Bazowych (tab. 1) i w większości przypadków realizowano pełny zakres podstawowy.

Poza jedną Stacją Bazową na wszystkich realizowano programy C2 i C3 – chemizm opadu podkoronowego i spływu po pniach drzew. W mniejszym stopniu były realizowane programy F1 – roztwory glebowe, oraz chemizm opadu biologicznego (G2). Badania chemizmu roztworów glebowych prowadzono na stacjach: Święty Krzyż oraz Storkowo. W roku 2004 badania te rozpoczęto również na powierzchni leśnej w Sobolewie (Stacja Bazowa Wigry).

W roku hydrologicznym 2004 rozpoczęto na wybranych powierzchniach testowych monitoring fauny epigenicznej w ramach programu fauna bezkręgową. Program ten realizowany jest pod kierunkiem dr S. Huruka z Akademii Świętokrzyskiej.

Tabela 1. Realizacja zakresu pomiarowego na Stacjach Bazowych w roku hydrologicznym 2004

Program	Stacja Bazowa						
	Wigry	P.Borecka	Pożary	Św. Krzyż	Szymbark	Koniczynka	Storkowo
A1	R	R	R	R	R	R	R
B1	R	R	R	R	R	R	NR
C1	R	R	R	R	R	R	R
C2	R	R	R	R	R	NR	R
C3	R	R	R	R	R	NR	R
F1	R	NR	NR	R	NR	NR	R
F2	R	R	R	R	R	R	R
G2	NR	R	NR	R	NR	NR	NR
H1	R	R	R	R	R	R	R
H2	NR	R	NR	NR	NR	NR	R
M1	R	R	R	R	R	R	NR
O1	R	R	R	R	NR	R	R

NR – program nie realizowany w roku 2004

PROGRAMY POMIAROWE REALIZOWANE W ROKU 2003

Meteorologia A1

Program meteorologia realizowany jest na wszystkich Stacjach Bazowych w oparciu o automatyczne stacje meteorologiczne firmy Vaisala. Równolegle na wybranych stacjach prowadzone są manualne obserwacje meteorologiczne wg standardów IMGW. Dane z obserwacji standardowych wykorzystywane są przy klasyfikacjach i porównaniach oraz w celach kontrolnych i weryfikacyjnych.

Chemizm powietrza B1

W roku hydrologicznym 2003 na wszystkich Stacjach Bazowych w celu rejestracji stężeń dwutlenku siarki i azotu wprowadzono metodę pasywną, która została opracowana w Zakładzie Chemii Analitycznej Politechniki Krakowskiej. Metoda pasywna pomiaru zanieczyszczeń powietrza polegała na adsorpcji zanieczyszczeń powietrza przez krążek wykonany z bibuły Whatmana, nasyczonej 0,1ml 20% wodnego roztworu trietanolaminy. Próbniki były eksponowane przez okres 1 miesiąca. Celem wprowadzonej metody jest możliwość porównywania poziomu stężeń wymienionych gazów pomiędzy Stacjami Bazowymi.

Uzyskane na stacji Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 2004 równoległe serie stężeń dwutlenku siarki metodą aktywną (filtr z wymuszonym przepływem powietrza) oraz metodą pasywną, wskazują, że w większości miesięcy różnice między wynikami mieściły się w granicach błędu obu metod, maksymalnie osiągając wartość 34% (Śnieżek 2005). W przypadku dwutlenku azotu analogicznie jak w przypadku SO₂ uzyskaną dużą zbieżność wyników pomiarów. Tylko w przypadku trzech pierwszych miesięcy roku hydrologicznego różnice były znaczące, przy czym stężenie NO₂ uzyskane metodą pasywną było wyższe od dotychczas używanej procedury (filtr ceramiczny z wymuszonym przepływem powietrza). W skali roku średnie roczne stężenie NO₂ uzyskane metodą pasywną było o 38% wyższe od wyników metody referencyjnej.

W roku 2004 prowadzono również pomiary zanieczyszczeń powietrza innymi metodami niż metoda pasywna. Stężenia SO₂ na stacji w Koniczynie mierzono w sposób półautomatyczny metodą kulometryczną przy użyciu analizatora imisji ANIM-68.

Pomiary zanieczyszczeń na Świętym Krzyżu rejestrowane były automatycznie przy wykorzystaniu analizatorów firmy HORIBA. Wartości średniodobowe analizowanych zanieczyszczeń powietrza uzyskano z pomiarów 30-to minutowych. Analiza zanieczyszczeń powietrza prowadzona na Stacji Bazowej Puszcza Borecka oparta była o metody z wykorzystaniem impregnowanych filtrów z wymuszonym przepływem powietrza (dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, azot azotanowy ogólny, azot amoniakalny ogólny, siarka

siarczanowa) oraz analizatorów automatycznych (ozon, dwutlenek węgla). Analizy laboratoryjne oparte były o zastosowanie metod elektroforezy kapilarnej (SO_2 , HNO_3+NO_3 , SO_4) oraz kolorymetrii (NO_2 , NH_3+NH_4).

Chemizm opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej C1

Analogicznie jak w latach ubiegłych na wszystkich Stacjach Bazowych prowadzony był monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej.

Tabela 2. Metodyka poboru opadów atmosferycznych na Stacjach Bazowych

Stacja bazowa	Parametr	Frakcja opadu	Czas ekspozycji chwytnicza (y)/pomiar właściwości chemicznych dla okresu
Pożary	pH, SEC	całkowity	Doba/ dla doby
	skład jonowy	całkowity	Miesiąc/ dla miesiąca
Święty Krzyż	pH, SEC	całkowity	Tydzień/dla tygodnia
	skład jonowy	całkowity	tydzień,/dla miesiąca
Koniczynka	pH, SEC	mokry	Doba/dla doby
	Skład jonowy	mokry	Doba/dla miesiąca
Wigry	pH, SEC, skład jonowy	mokry	Tydzień/dla tygodnia
Szymbark	pH, SEC	całkowity	Doba/dla doby
	skład jonowy	całkowity	Doba/dla miesiąca
Storkowo	pH, SEC	całkowity	Doba/dla doby
	skład jonowy	mokry	Doba/dla miesiąca
Puszcza Borecka	pH, SEC, skład jonowy	całkowity	Doba/dla miesiąca
	Cr, As, Ni, Cu, Pb, Cd, Al, Zn	całkowity (XI 2002 – III 2003), mokry od IV 2003	opad całkowity jw., opad mokry - tydzień

Próby opadu atmosferycznych pobierano w przypadku większości Stacji Bazowych równolegle – przy pomocy standartowych chwytniczy (opad całkowity) oraz chwytniczy opadu mokrego. W tabeli nr 2 prezentowana jest ta metoda poboru opadu, którego parametry fizykochemiczne zostały zamieszczone w Raportach stacji oraz Centralnej Bazie Danych ZMŚP.

Chemizm opadu podkoronowego i spływu po pniach – C2, C3

Badania składu chemicznego opadu podkoronowego i spływu po pniach w roku hydrologicznym 2004 prowadzono na stacjach: Święty Krzyż, Wigry, Storkowo, Szymbark, Puszcza Borecka, Pożary.

Tabela. 3. Metodyka poboru opadu podkoronowego i spływu po pniach

Stacja bazowa	Skład gatunkowy	Liczba chwytaczy, powierzchnia wlotowa	Czas ekspozycji chwytaczy
Święty Krzyż	jodła, buk	10 chwytaczy o pow. całkowitej 1,134m ² , po 5 chwytaczy dla każdego gatunku drzew (spływ po pniach)	tydzień
Storkowo	sosna	15 chwytaczy, 3 chwytacze dla spływu po pniach	miesiąc
Wigry	sosna, świerk	brak danych	tydzień
Szymbark	świerk, grab	4 chwytacze o pow. całkowitej 0,48m ²	tydzień
Puszcza Borecka	Świerk, dąb, grab	4 chwytacze	tydzień
Pożary	sosna	3 chwytacze	Brak informacji

Roztwory glebowe F1

Badania chemizmu roztworów glebowych w roku hydrologicznym 2004 prowadzono na trzech Stacjach Bazowych: Święty Krzyż, Storkowo oraz Wigrach. W przypadku powierzchni testowej na Świętym Krzyżu do poboru roztworów glebowych wykorzystano próbники podciśnieniowe z kubeczkami teflonowymi firmy Eijkelkamp. Lizymetry umieszczono na głębokościach: 15, 30, 60, 90 i 120cm w kilku powtórzeniach w profilu gleby brunatno-rdzawej, opadowoglejowej (RD2). Próby pobierano w cyklu tygodniowym.

W stacji Storkowie do poboru roztworów glebowych wykorzystano próbники podciśnieniowe firmy Eijkelkamp z kubkami ceramicznymi. Próbniki zainstalowano na głębokości: 30, 60, 120cm w trzech powtórzeniach, próby pobierano w okresach miesięcznych. Próbniki umieszczone są w profilu gleby bielcowo-rdzawej (RD3).

W Stacji Bazowej Wigry w roku 2004 rozpoczęto monitoring chemizmu roztworów glebowych na powierzchni leśnej w Sobolewie. Do badań wykorzystano próbники podciśnieniowe teflonowo-kwarcowe, które umieszczono na trzech głębokościach: 30, 50 i 100cm w profilu gleby płowej zbielcowanej (PW3).

Wody podziemne F2

Monitoring wód podziemnych prowadzony był na wszystkich Stacjach Bazowych.

Tabela 4. Monitoring wód podziemnych w roku hydrologicznym 2004

Stacja bazowa	Stanowiska	Położenie stanowiska	Częstotliwość pomiarów
Święty Krzyż	źródło Z2	wierzchowina stoku, drzewostan bukowo-jodłowy	pH, SEC raz w tygodniu, skład jonowy raz w miesiącu
	źródło Z3	podnóże stoku, zbiorowisko leśne	jw.
Požary	sieć 21 piezometrów	zlewnia Kanału Olszowieckiego	poziom zwierciadła raz w tygodniu, skład jonowy raz w roku
Koniczynka	piezometr	zlewnia Strugi Toruńskiej	poziom zwierciadła raz w tygodniu, skład jonowy raz w roku
Szymbark	źródło Wiatrówka, ujęte w studnię kopaną	zlewnia Bystrzanki	skład jonowy 4 razy w roku
Puszcza Borecka	studnia wiercona (155) – głębokość 32m, studnia kopana (152) – głębokość 5m	zlewnia jez. Łękuk	wszystkie parametry 6 razy w roku
Wigry	piezometr	zlewnia Czarnej Hańczy, Sobolewo	poziom zwierciadła raz na tydzień, skład jonowy 4 razy w roku
Storkowo	źródło Krętacza	prawobrzeżny dopływ Parsęty	skład jonowy 4 razy w roku
	piezometry: P6, P5, P4, źródło (ZR)	zlewnia Chwalimskiego Potoku, transekt stokowy: P6 – wierzchowina, P5 – środkowa część stoku, P4 – podnóże stoku, ZR – wysięk u podnóża stoku	poziom zwierciadła raz na tydzień, skład jonowy raz na miesiąc

Chemizm opadu biologicznego – G2

Badania chemizmu opadu biologicznego prowadzono na jednej Stacji Bazowej na Świętym Krzyżu. Opad organiczny badany był na dwóch powierzchniach testowych o powierzchni 200m² każda. Na powierzchniach tych rozmieszczono po 15 chwytaczy na areale 6 x 12m, z ogólną powierzchnią chwytą 0,71m².

W zlewni jez. Łękuk opad biologiczny pobierano za pomocą dwóch chwytaczy o powierzchni 1m kw. każdy.

Wody powierzchniowe - rzeki H1

Monitoring wód powierzchniowych prowadzono na wszystkich Stacjach Bazowych w roku hydrologicznym 2003.

Tabela 5. Monitoring wód powierzchniowych – rzeki w roku hydrologicznym 2003

Stacja bazowa	Zlewnia	Stanowiska	Częstotliwość pomiarów	Rejestracja poziomu, pomiar przepływu
Święty Krzyż	zlewnia I rzędu na stoku Łysej Góry	stanowiska C5, C6 (profil zamykający zlewnie)	poziom pH, SEC (raz na tydzień), skład jonowy (raz na miesiąc)	limnigraf, pomiar przepływu przy użyciu przelewu Poncoleta (C6)
Wigry	zlewnia Czarnej Hańczy,	profil Sobolewo, profil Ujście przy ujściu rzeki do jez. Wigry	poziom (ciągły), pomiar przepływu raz na miesiąc, wł. fizykochemiczne raz na miesiąc	limnigraf, przepływ mierzono elektromagnetycznym przepływomierzem 801 firmy SEBA
Szymbark	zlewnia Bystrzanki	stacja wodowskazowa na Bystrzance	poziom (ciągły), pH, SEC, temp raz na dobę, skład jonowy raz na tydzień	limnigraf
Koniczynka	zlewnia Strugi Toruńskiej	profile: Koniczynka, Lipowiec	poziom, pH, SEC, temp. raz na dobę, skład jonowy raz na miesiąc	limnigraf, młynek hydrologiczny
Puszcza Borecka	zlewnia jez. Łękuk	stanowiska: 100 (odpływ z jeziora), 101, 102, 103 (gł. dopływy do jeziora)	poziom (ciągły), pH, SEC, temp., SiO ₂ raz na dobę, skład jonowy raz na tydzień	limnigraf
Storkowo	zlewnia górnej Parsęty	profile: Parsęta, Młyński Potok	poziom (ciągły), pH, SEC, temp., SiO ₂ raz na dobę, skład jonowy raz na tydzień	limnigraf
Pożary	zlewnia Kanału Olszowieckiego	stanowisko wodowskazowo-limnigraficzne na Kanale Olszowieckim	poziom, temp., pH, SEC raz na dobę, skład jonowy raz na miesiąc	limnigraf

Wody powierzchniowe - jeziora H2

Monitoring jezior prowadzono na dwóch Stacjach Bazowych: Puszcza Borecka i Storkowo. W Puszczy Boreckiej badaniami objęte było jezioro Łękuk, o powierzchni 22ha. Próby wody dla analiz właściwości fizykochemicznych pobierano 8 razy w ciągu roku z

głębokości 1m pod powierzchnią, oraz 1m nad dnem. W zlewni górnej Parsęty badaniami objęto bezodpływowe powierzchniowo jezioro Czarne o powierzchni 3,1ha i głębokości 6,8m (Szpiłowska i in. 2005). Temperaturę wód mierzono, co 0,5m, natomiast próbki wody dla pomiaru właściwości fizykochemicznych pobrano z głębokości 1, 3, 5 metrów.

Epifity nadrzewne- M1

W przypadku stacji Wigry badania epifitów nadrzewnych prowadzone są na 15 stanowiskach wytypowanych na terenie zlewni eksperymentalnej. System monitoringu objęto 12 gatunków porostów nadrzewnych.

W roku 2004 na terenie zlewni jez. Łękuk wykonano obrys i opis porostów nadrzewnych na 10 stanowiskach. Analogiczne pomiary wykonano w zlewni Bystrzanki w przypadku 17 stanowisk oraz na terenie zlewni Strugi Toruńskiej (Stacja Koniczynka). Badań porostów w roku 2004 nie prowadzono na obszarze zlewni górnej Parsęty i Kanału Olszowieckiego.

Fauna bezkręgową- O1

W roku hydrologicznym 2004 rozpoczęto na Stacjach Bazowych monitoring fauny bezkręgowej. Koordynatorem program dr S. Huruk z Akademii Świętokrzyskiej. Badania prowadzone są w wytypowanych typach siedliskowych lasu. Przedmiotem monitoringu są chrząszcze z rodziny *Carabidae*.

Chrząszcze odławiane są za pomocą pułapek Barbera eksponowanych w terenie przez okres 5 miesięcy, od maja do końca września. Wyselekcjonowane z odłowionego materiału chrząszcze *Carabidae* są konserwowane a następnie przesyłane do Akademii Świętokrzyskiej.

Tabela 6. Lokalizacja powierzchni testowych dla odłowu fauny bezkręgowej

Stacja Bazowa	Typ siedliskowy lasu
Wigry	Bór bagienny, las mieszany
Storkowo	Bór mieszany świeży, bór świeży
Puszcza Borecka	Grąd, las mieszany, bór bagienny
Koniczynka	Brak*
Święty Krzyż	Las wyżynny, las górski
Szymbark	Las wyżynny, las górski

* monitorowana jest fauna bezkręgową glebową

ANALITYKA LABORATORYJNA (PRÓBY WODY)

Tabela 7. Analityka laboratoryjna (próby wody) na Stacjach Bazowych

Stacja bazowa	Parametry	Metody analityczne
Święty Krzyż (Program: C2, C3, F1, F2, H1)	SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Cl^- ,	Spektrofotometria UV-VIS
	Na^+ , K^+	Płomieniowa spektrometria emisji atomowej FAES
Święty Krzyż (Program: C1)	Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ,	elektroforeza kapilarna EK
	NH_4^+	Spektrofotometria, kolorymetria
	K^+	Płomieniowa spektrometria emisji atomowej FAES
Wigry (Wszystkie programy)	zasadowość	metoda alkacymetryczna
	Cl^-	metoda argentometryczna
	Ca^{2+} , Mg^{2+}	metoda miareczkowa z wersenianem sodu
	PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+	Spektrofotometria, kolorymetria
	Na^+ , Al^{3+}	spektrometria absorpcji atomowej
Szymbark	zasadowość	metoda alkacymetryczna
	PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- , Pog, Mg^{2+} , Ca^{2+}	spektrofotometria UV/VIS
	Na^+ , K^+	Spektrometria emisji atomowej
	Mn^{2+} , Fe^{3+} ,	spektrometria absorpcji atomowej
	rozpuszczalny węgiel organiczny	automatyczny analizator węgla
Puszcza Borecka	Al^{3+} , Ba^+ , Ca^{2+} , Cd^+ , Cr^+ , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Ni^+ , Pb^{3+} , Pog, Si^{4+} , Sr^+ , Zn^{2+} ,	plazmowa spektrometria emisji atomowej ICP-AES
	Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ,	elektroforeza kapilarna EK
	Norg., NH_4^+ , zasadowość	Spektrofotometria, kolorymetria
	Corg	Automatyczny analizator węgla
	K^+	Płomieniowa spektrometria emisji atomowej FAES
Storkowo	zasadowość	metoda alkacymetryczna
	Ca^{2+}	metoda miareczkowa z wersenianem sodu
	Na^+ , K^+	Płomieniowa spektrometria emisji atomowej FAES
	NH_4^+ , PO_4^{3-} , SiO_2 , Pogl,	Spektrofotometria, kolorymetria
	Fe^{3+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} ,	Płomieniowa spektrometria absorpcji atomowej FAAS
	Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ,	chromatografia jonowa

W przypadku Stacji Bazowej Konieczynka analizy opadów atmosferycznych są zgodne z metodykami stosowanymi w przypadku stacji Puszcza Borecka (Instytut Ochrony Środowiska w Warszawie). Analizy chemiczne wód podziemnych wykonuje Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie, natomiast wód powierzchniowych Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Toruniu.

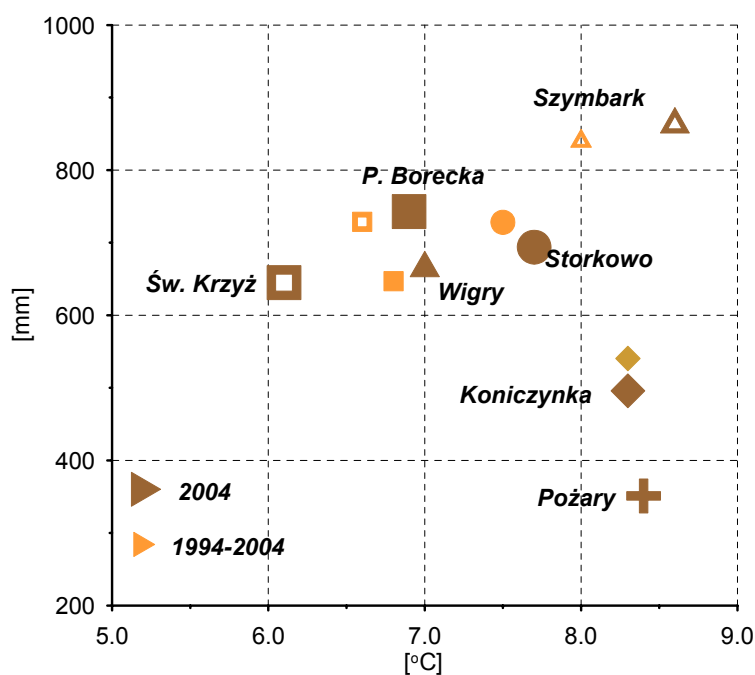
WARUNKI HYDROMETEOROLOGICZNE

METEOROLOGIA

Warunki hydrometeorologiczne stanowią podstawę rozpoznania uwarunkowań funkcjonowania i przemian geosystemów. Dlatego jednym z podstawowych zadań realizowanych w ramach ZMŚP jest monitoring zjawisk pogodowych. W roku hydrologicznym 2004 obserwacje meteorologiczne na wszystkich Stacjach Bazowych prowadzono w oparciu o automatyczne stacje meteorologiczne firmy Vaisala, uzupełniane o manualne obserwacje zgodne ze standardem sieci pomiarowej IMGW.

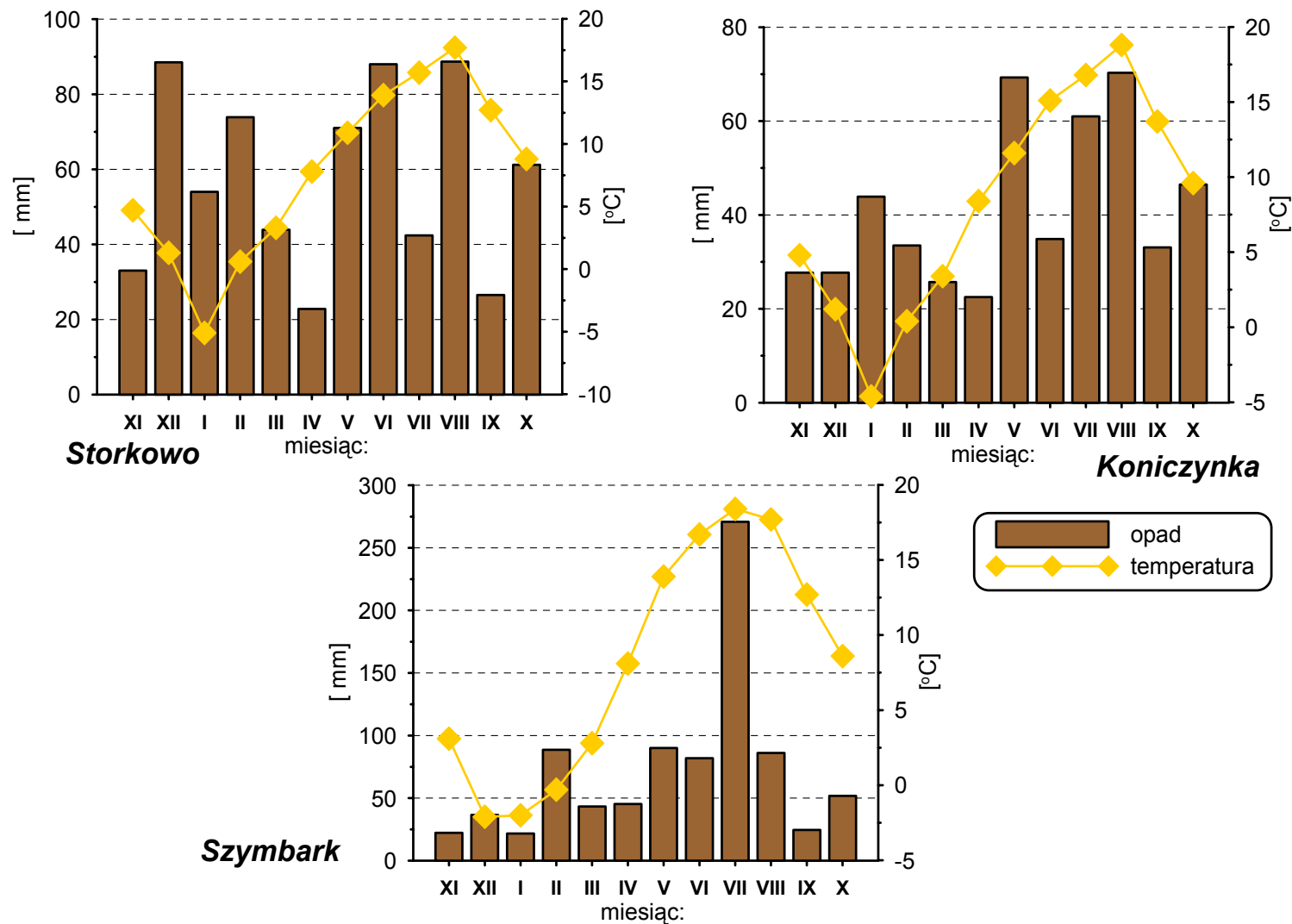
Zgodnie z przyjętą klasyfikacją termiczno-opadową rok hydrologiczny 2004 na poszczególnych Stacjach można zaliczyć jako:

- Stacja Wigry – lekko ciepły ($7,0^{\circ}\text{C}$), normalny (664,8mm)
- Puszcza Borecka – normalny ($6,9^{\circ}\text{C}$), wilgotny (743,0mm)
- Storkowo – normalny ($7,6^{\circ}\text{C}$), normalny (693,9mm)
- Koniczynka – normalny ($8,3^{\circ}\text{C}$), normalny (496,1mm)
- Święty Krzyż – lekko chłodny/normalny ($6,1^{\circ}\text{C}$), suchy (645,0mm)
- Szymbark – normalny ($8,6^{\circ}\text{C}$), normalny (862,8mm).



Ryc. 1 Warunki termiczno opadowe na Stacjach w roku hydrologicznym 2004 na tle wielolecia

Warunki hydrometeorologiczne

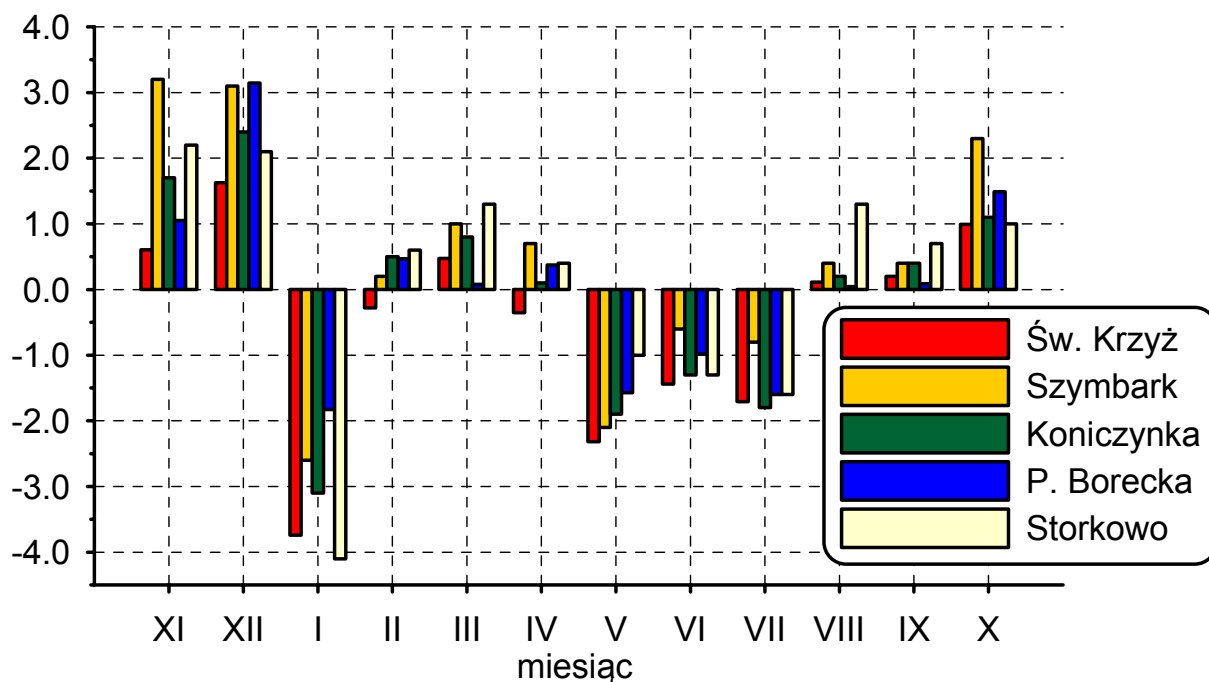


Ryc. 2. Rozkład miesięcznych sum opadów atmosferycznych i średnich temperatur powietrza na wybranych Stacjach Bazowych w roku hydrologicznym 2004

Pod względem warunków termicznych rok 2004 nie odbiegał znacząco od wartości wieloletnich i został zaklasyfikowany w przypadku większości stacji jako normalny (ryc. 1).

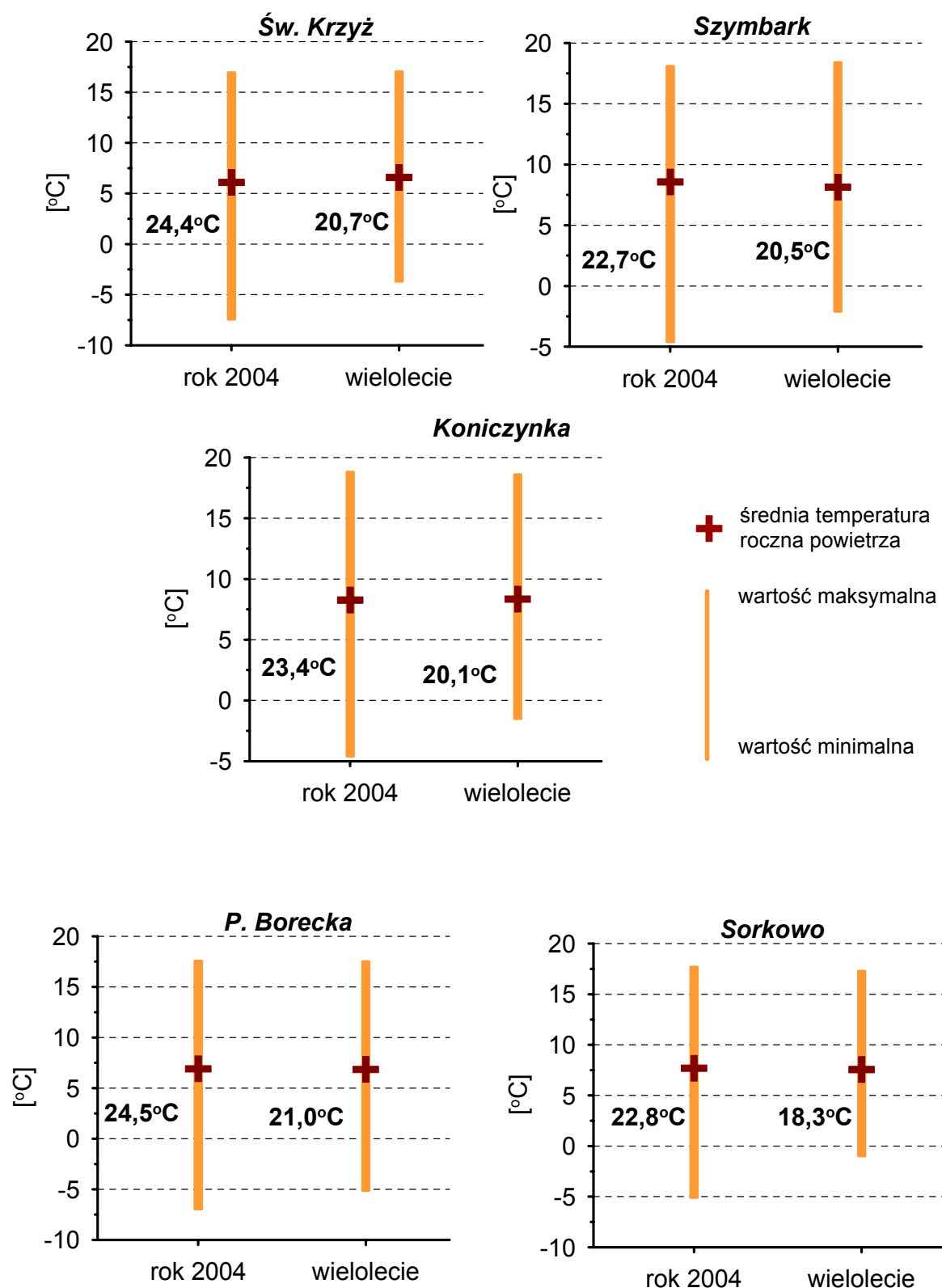
W skali roku najcieplejszym miesiącem był sierpień, a nie jak zwykle lipiec. Względnie ciepłym miesiącem był także listopad i grudzień. Najniższą temperaturą miesięczną powietrza w roku hydrologicznym 2004 charakteryzował się styczeń.

Jak już wspomniano analizowany rok nieznacznie odbiegał od wartości z wielolecia (1994 – 2004). W skali poszczególnych miesięcy in minus odbiegał styczeń, oraz przełom wiosny i lata. W styczniu średnia miesięczna temperatura różniła się od wartości wieloletnich o 3, 4°C. Miesiącami, w których średnia miesięczna temperatura była wyższa od wielolecia były: listopad, grudzień oraz październik (ryc. 3). Względnie ciepły początek wiosny i wyższe temperatury w okresie jesiennym miały wpływ na dłuższy okres wegetacyjny w roku 2004. W zlewni górnej Parsęty (Storkowo) okres wegetacyjny rozpoczął się 13 kwietnia i był o ponad dwa tygodnie dłuższy (208) od wartości z wielolecia (197) (Szpikowski 2005).



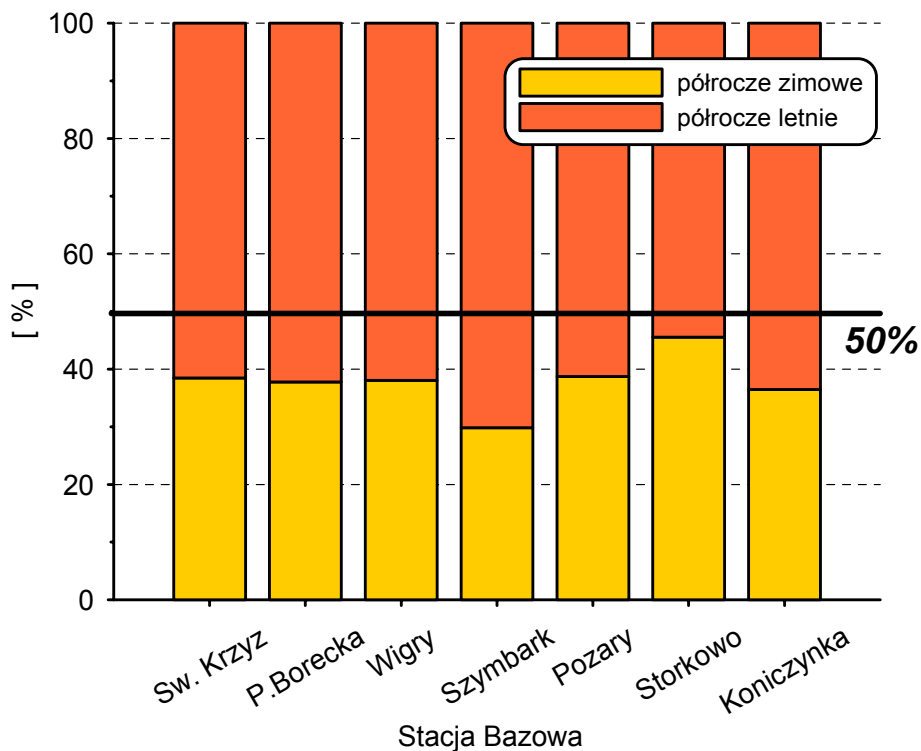
Ryc. 3. Porównanie średnich miesięcznych temperatur powietrza w roku hydrologicznym 2004 na tle wartości wieloletnich (1994 – 2004)

Cechą charakterystyczną ostatnich lat jest utrzymujący się wzrost rocznej amplitudy powietrza. Tendencja ta zaznacza się na wszystkich Stacjach Bazowych niezależnie od położenia geograficznego (ryc. 4). Wzrost amplitudy temperatur powietrza wskazuje na coraz większą dominację cech klimatu kontynentalnego w klimacie Polski.

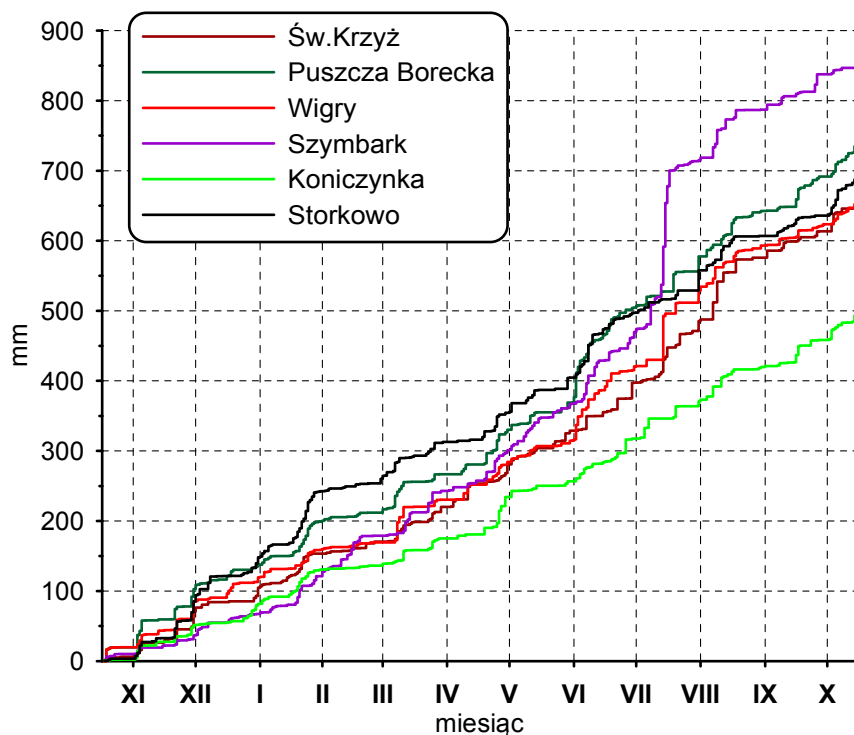


Ryc. 4. Rozkład rocznej amplitudy powietrza w roku hydrologicznym 2004 na tle wartości z wielolecia 1994-2004

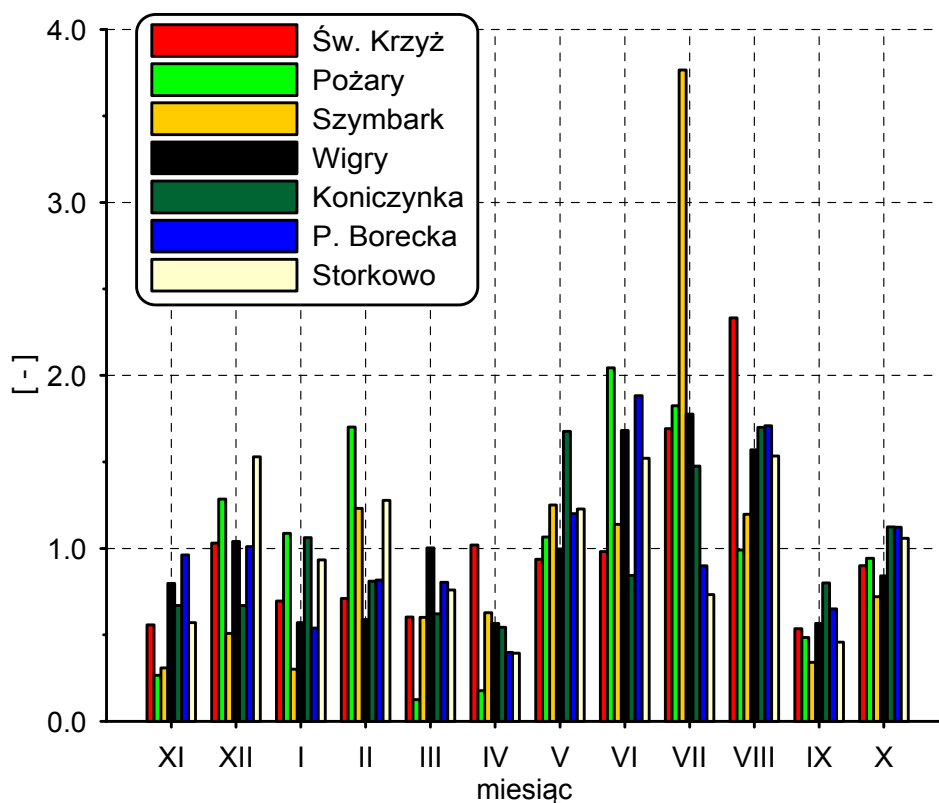
Rok hydrologiczny 2004 znacząco odbiegał pod względem sum rocznych opadów atmosferycznych od dwóch ostatnich lat hydrologicznych. Poza Stacją Puszcza Borecka, gdzie analizowany okres zaklasyfikowano jako wilgotny, w przypadku pozostałych stacji został zaliczony do klasy lat normalnych wg klasyfikacji Kaczorowskiej.



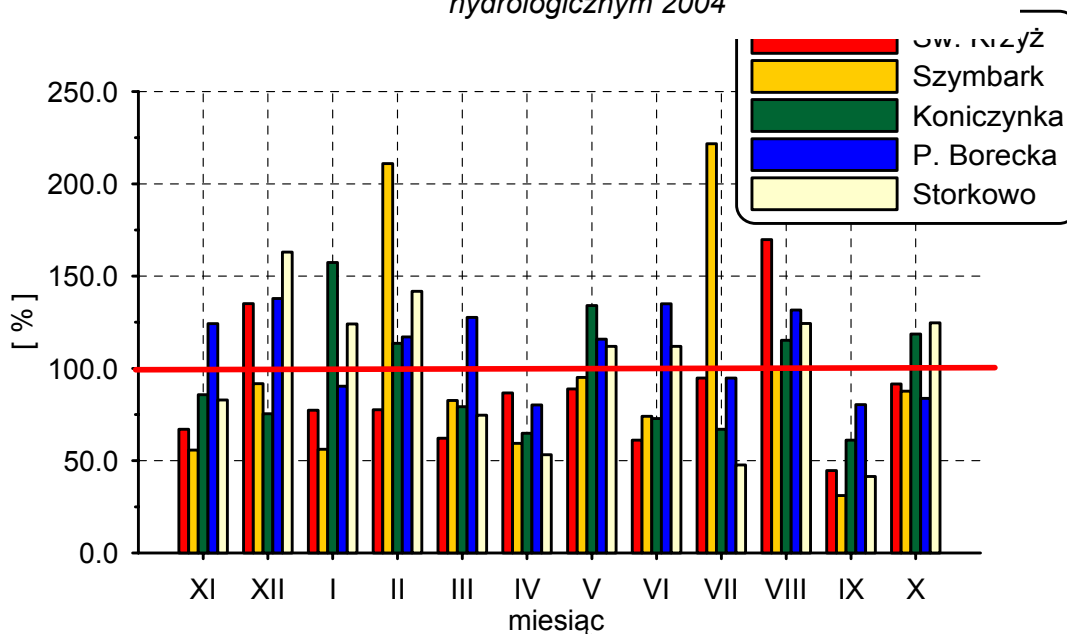
Ryc. 5. Udział opadów półrocza zimowego i letniego w roku hydrologicznym 2004



Ryc. 6. Rozkład skumulowany opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2004



Ryc. 7. Rozkład współczynnika pluwiometrycznego w roku hydrologicznym 2004



Ryc. 8. Porównanie miesięcznych sum opadów w roku hydrologicznym 2004 na tle wartości z wielolecia 1994 – 2004

wartość 100 oznacza, że suma miesięczna w roku 2004 była równa wartości z wielolecia

Rozkład miesięczny opadów atmosferycznych w większości stacji ma charakter jednomodalny z maksimum w półroczu letnim. Pewną odmiennością w omawianym roku wyróżnia się stacja Storkowo, gdzie uzyskano rozkład bimodalny – z dwoma maksimum: zimowym (miesiące grudzień – luty) oraz letnim (czerwiec, lipiec).

W przypadku wszystkich stacji zaznacza się dominacja opadów półrocza letniego (ryc. 5). Tendencja ta zaznacza się wyraźnie w ciągu ostatnich lat.

Analiza rozkładu opadów w ciągu roku potwierdza, istotne zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi miesiącami. Miernikiem, który oddaje zróżnicowanie opadów w ciągu roku jest współczynnik pluwiometryczny, którego wartość 1 oznacza sumę miesięczną opadu równą 1/12 sumy rocznej – brak zróżnicowania w skali roku. Ponad przeciętne sumy opadów odnotowano zwłaszcza w półroczu letnim (miesiące: czerwiec, lipiec, sierpień). Rekordowym pod tym względem był lipiec, kiedy to na terenie zlewni Bystrzanki (Szymbark) suma miesięczna opadu wyniosła 270,8mm i była to wartość najwyższa w 36-letnim okresie prowadzenia obserwacji meteorologicznych na tym obszarze (Bochenek 2005). Natomiast znacznym niedoborem opadów charakteryzował się grudzień, kwiecień oraz wrzesień. W skali całego roku hydrologicznego sporadycznie sumy miesięczne równe były 1/12 sumy rocznej (ryc. 7). Zmianie ulega również struktura opadów w ciągu roku hydrologicznego. Wzrasta udział opadów umiarkowanych (o wysokości 5,1-10,0mm) oraz opadów najbardziej wydajnych. Liczba dni z opadem w roku 2004 przekraczała in plus wartości wieloletnie. Dla zlewni jez. Hańcza wartość ta wyniosła 178, jez. Łękek 188, zlewni górnej Parsęty 201, natomiast dla stacji Szymbark 206 dni z opadem.

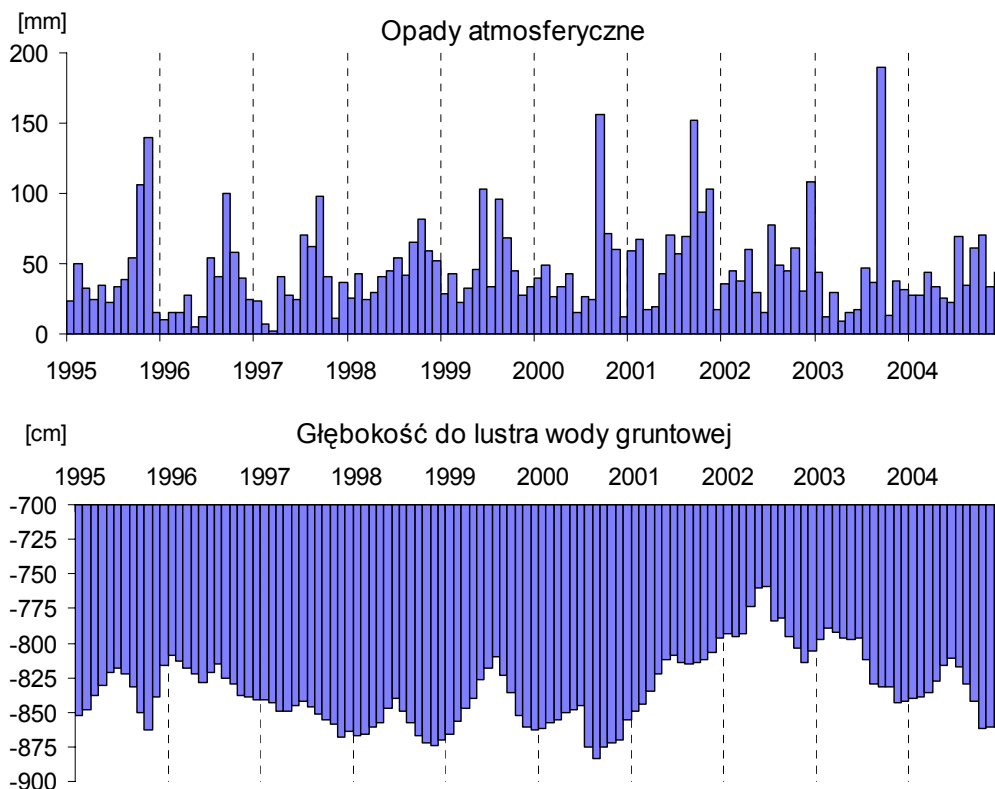
Analiza sum miesięcznych opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2004 na tle wartości wieloletnich potwierdza znaczne dysproporcje w skali roku. Największe odstępstwa od normy in plus odnotowano w grudniu, lutym oraz w lipcu (Szymbark) i sierpniu. Sumy opadów niższe od wartości wieloletnich wystąpiły w kwietniu oraz wrześniu w przypadku wszystkich Stacji Bazowych (ryc. 8).

Pomiary anemometryczne prowadzone na stacjach w roku hydrologicznym 2004 potwierdzają wzrost udziału sektora wschodniego w całkowitej frekwencji kierunków wiatrów. W zlewni górnej Parsęty w skali roku dominował sektor W-WSW-SW, oraz E-ESE, które stanowiły odpowiednio: 28% i 23%. Analogicznie przedstawia się frekwencja wiatrów w położonej w tej samej strefie krajobrazowej Puszczy Boreckiej. W zlewni jez. Łękek dominowały wiatry z sektora zachodniego (24%) oraz wschodniego (17%) i południowo-wschodniego (15%). W obu przypadkach najmniejszym udziałem charakteryzował się sektor północny. W zlewni Strugi Toruńskiej (Koniczynka) największą częstością w roku 2004 charakteryzowały się wiatry wiejące z kierunku SW i W, które stanowiły 39% wszystkich przypadków. Sektor zachodni dominował również w przypadku stacji na Świętym Krzyżu, stanowił on 22% ogółu przypadków. Średnia prędkość wiatru na Stacjach Bazowych w omawianym okresie była zbliżona do wartości z wielolecia. Wiatry o największej prędkości występowały w okresie półrocza zimowego. Notowane prędkości chwilowe (26m/s) w zlewni jez. Łękek należały do najwyższych w wieloleciu (Śnieżek 2005). W przypadku stacji

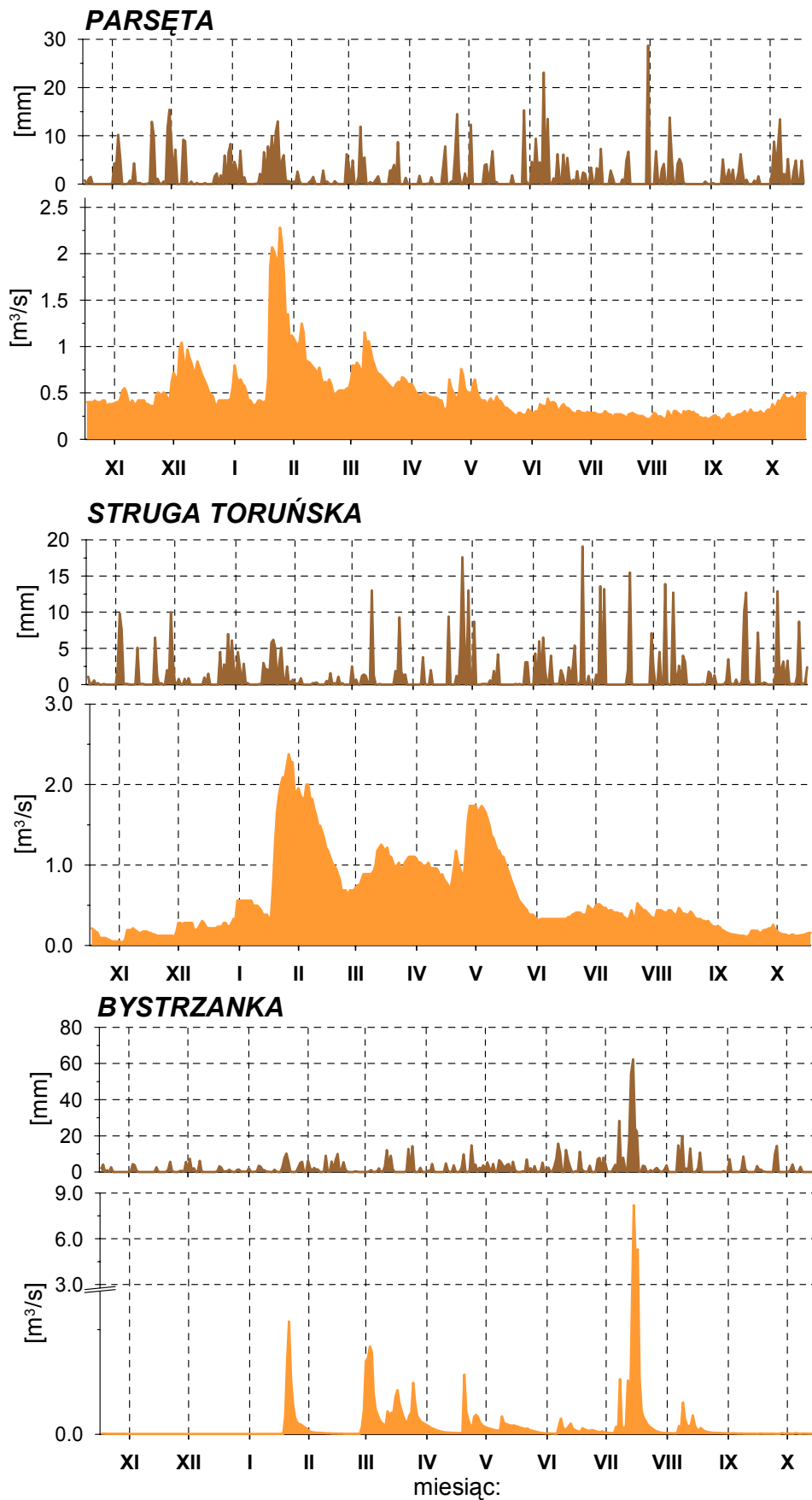
Puszcza Borecka wiatry o prędkości huraganów są zjawiskiem, które coraz częściej jest rejestrowane w ostatnich pięciu latach w rejonie stacji (Śnieżek 2005).

WODY PODZIEMNE, POWIERZCHNIOWE – POZIOM WÓD

Rok hydrologiczny 2004 należy uznać za okres odbudowy zasobów wodnych w monitorowanych zlewniach badawczych. Uzyskane wyniki monitoringu zarówno wydajności źródeł (Szymbark, Św. Krzyż) oraz głębokości poziomu wód podziemnych (Wigry, Puszcza Borecka, Storkowo, Koniczynka) potwierdzają stabilizację i powrót do stanu sprzed roku 2003, który zaliczono do najsuchszych w okresie prowadzenia badań (1994 – 2004). Wyjątek stanowią wyniki obserwacji hydrogeologicznych prowadzonych w zlewni Strugi Toruńskiej (Koniczynka). W roku hydrologicznym 2004 obserwowano tendencję spadkową zalegania zwierciadła wód podziemnych. Średnia głębokość do lustra wody w piezometrze wyniosła 837cm i była niższa o 24cm w porównaniu do roku poprzedzającego (Kejna 2005). Przyczyną takiego stanu jest duża bezwładność geoekosystemu zlewni Strugi Toruńskiej i tym samym przesunięcie w czasie reakcji systemu wód podziemnych na poprawę warunków opadowych w roku 2004, oraz stosunkowo niewielki wzrost tegorocznej sumy opadów w relacji do suchego roku 2003.



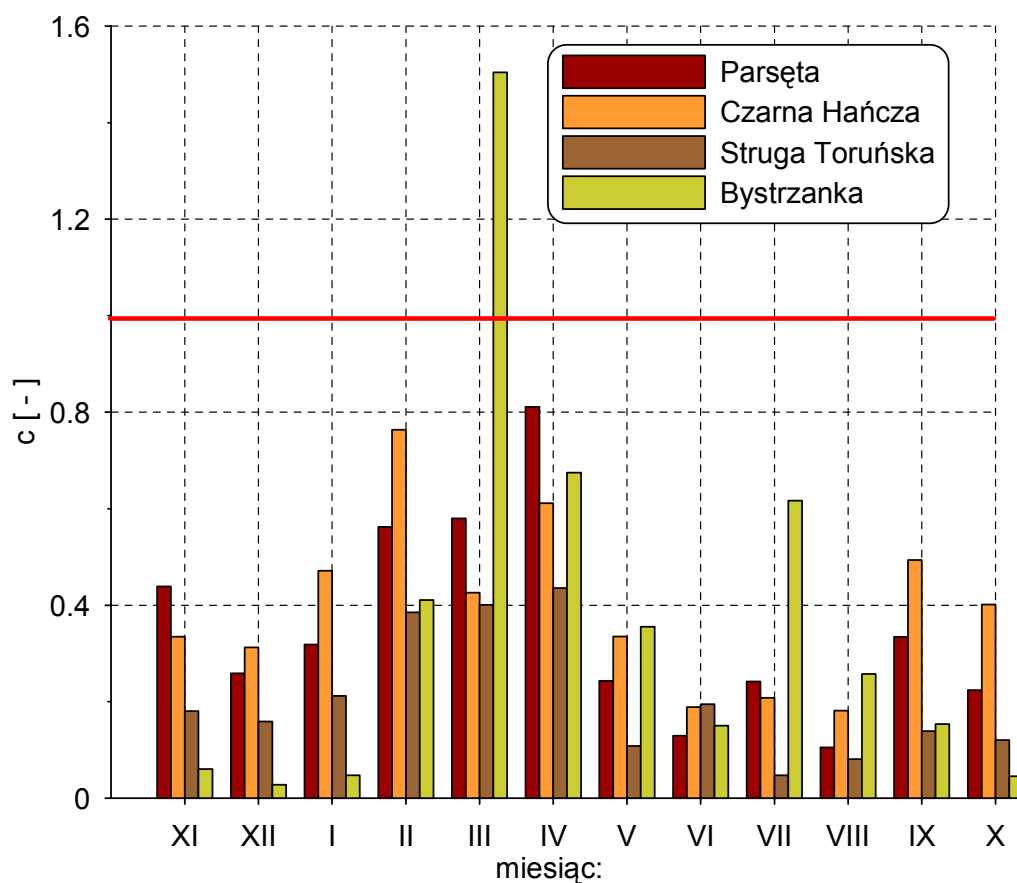
Ryc. 9. Rozkład poziomu wód podziemnych na tle zróżnicowania sum miesięcznych opadów w zlewni Strugi Toruńskiej w wieloleciu 1995 – 2004 (Kejna 2005)



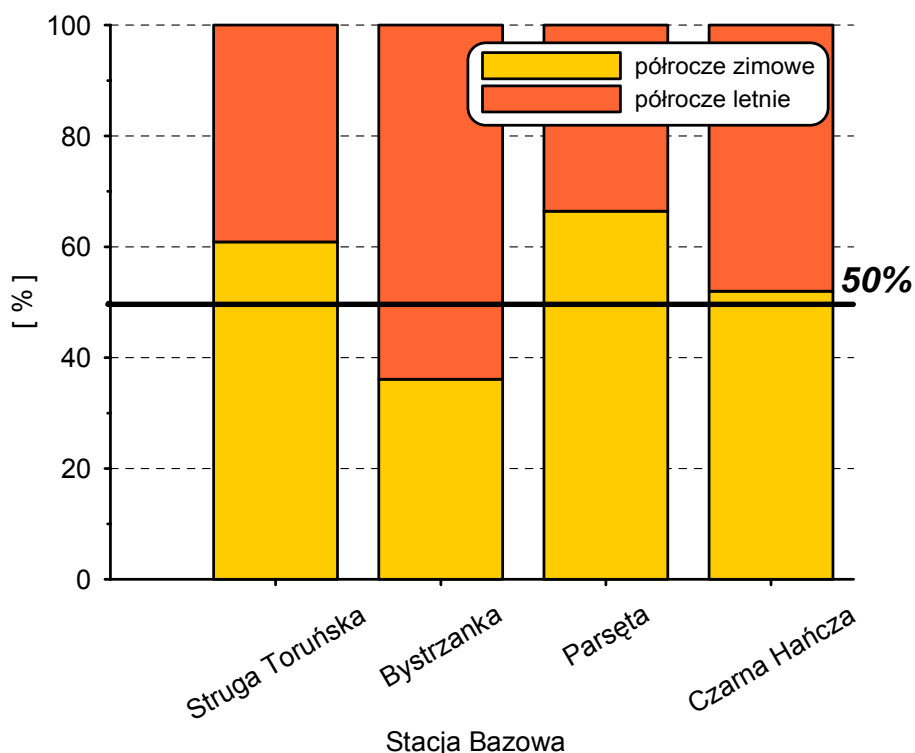
Ryc. 10. Rozkład przepływów na tle opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2004 w wybranych zlewniach rzecznych

Tabela 1. Parametry hydrometeorologiczne w roku 2004

Parametr	Jednostka	Zlewnia górnej Parsęty (Parsęta Storkowo)	Zlewnia Czarny Hańczy (Sobolewo)	Zlewnia Strugi Toruńskiej (Koniczynka)	Zlewnia Bystrzanki (Szymbark)
powierzchnia	km ²		162,7	35,5	13,0
Opad atmosferyczny	mm	693,9	665,0	496,1	826,8
Średni przepływ	m ³ /s	0,49	1,26	0,60	0,20
Max przepływ	m ³ /s	2,28	3,42	2,4	8,20
Min przepływ	m ³ /s	0,19	0,74	0,04	0,005
Średni odpływ jednostkowy	dm ³ /s/km ²	6,71	7,0	2,7	15,38
Wskaźnik odpływu	mm	210,9	221,0	84,9	375,0
Współczynnik odpływu	-	0,35	0,33	0,17	0,45



Ryc. 11. Rozkład współczynnika odpływu dla wybranych cieków w roku hydrologicznym 2004
Parsęta (Storkowo), Czarna Hańcza (Sobolewo), Struga Toruńska (Koniczynka), Bystrzanka (Szymbark)



Ryc. 12. Udział odpływu powierzchniowego półrocza zimowego i letniego w roku hydrologicznym 2004

Deficyt opadów atmosferycznych w roku poprzedzającym oraz korelacja czasowa roztopów i wysokich sum opadów atmosferycznych w roku 2004 miały decydujący wpływ na zmienność czasową przepływu i wielkość odpływu z monitorowanych zlewni rzecznych. Analogicznie jak w przypadku wód podziemnych także wielkość odpływu powierzchniowego potwierdza, że rok hydrologiczny 2004 należy zaliczyć do okresu o wartościach zbliżonych do charakterystyk wieloletnich. Uzyskane hydrogramy przepływu wskazują, że w przypadku rzek pasa pojezierzy (Parsęta, Czarna Hańcza) i nizin (Struga Toruńska) okresy wezbrań przypadły na półrocze zimowe i były one związane z roztopami i wysokim tym w okresie roku sumami opadów atmosferycznych (ryc. 10). Miesiącem, który szczególnie wyróżniał się na tle całego roku był luty. W okresie tym zanotowano wysokie sumy opadów atmosferycznych, co w powiązaniu z intensywnymi roztopami pokrywy śnieżnej przyczyniło się do zwiększonego odpływu, przede wszystkim w przypadku zlewni nizinnych. Generalnie w przypadku cieków położonych w północnej i centralnej części kraju uzyskane hydrogramy przepływu mają charakter jednomodalny (wezbrania roztopowe połączone z wysokimi w tym okresie opadami atmosferycznymi – Parsęta, Czarna Hańcza) lub bimodalny (Struga Toruńska), gdzie drugi okres wysokich stanów jest efektem wiosennego maksimum opadowego (maj). W przypadku Bystrzanki rozkład przepływu nawiązuje głównie do różnicowania w skali roku sum opadów atmosferycznych. Największy miesięczny odpływ wystąpił w lipcu (167mm) i był spowodowany intensywnymi opadami deszczu w trzeciej dekadzie miesiąca (Bochenek 2005). Analiza rozkładu współczynnika odpływu dla

wybranych zlewni rzecznych potwierdza odtwarzanie zasobów wodnych wskutek retencji wód opadowych. Uzyskane wartości w roku hydrologicznym były niższe od wartości z wielolecia (Parsętą, Czarna Hańcza, Bystrzanka). Poza jednym przypadkiem miesięczny odpływ powierzchniowy nie przekroczył sumy opadów atmosferycznych (ryc. 11). Wysoki współczynnik odpływu (150%) dla Bystrzanki zanotowany w marcu spowodowany był intensywnymi w tym czasie roztopami pokrywy śnieżnej (Bochenek 2005).

Analiza udziału odpływu powierzchniowego w półroczu zimowym i letnim potwierdza dominację tego pierwszego w skali roku, pomimo maksimum opadowego przypadającego na półrocze letnie (ryc. 5 i 12).

Rozkład opadów atmosferycznych w analizowanym okresie roku 2004 nie sprzyjał odnawianiu się retencji gruntowej zlewni, gdyż maksimum opadowe przypadało na okres półrocza letniego, czyli okres o wysokiej ewapotranspiracji. Niewątpliwie wpływ na przebieg zjawisk hydrologicznych w monitorowanych zlewniach miał deficytowy w opady atmosferyczne rok 2003. Odtwarzanie zasobów wodnych zadecydowało o niskich wartościach odpływu w analizowanym roku. Ponadto czynnikami, które zadecydowały o przebiegu zjawisk hydrologicznych były okresy roztopowe połączone z wysokimi sumami opadów atmosferycznych oraz intensywne opady w miesiącach letnich (Bystrzanka).

OBIEG MATERII W SKALI ZLEWNI RZECZNEJ

Do podstawowych celów ZMŚP należy poznanie mechanizmów obiegu materii w podstawowych typach geosystemów Polski (Kostrzewski i in. 1995). Jednostką przestrzenną, która pozwala na całościowe ujęcie obiegu materii jest zlewnia rzeczna. Obok rozpoznania struktury wewnętrznej zasadnicze znaczenie ma rozpoznanie źródeł dostawy, dróg krążenia i odprowadzania materii (Kostrzewski i in. 1995). Prowadzone w ramach ZMŚP kompleksowe badania środowiska przyrodniczego pozwalają poznać obieg materii oraz procesy go kształtujące, umożliwiają również w sposób ilościowy i jakościowy zdefiniować źródła dostawy i odprowadzania materii w skali badanych geosystemów.

DEPOZYCJA ATMOSFERYCZNA

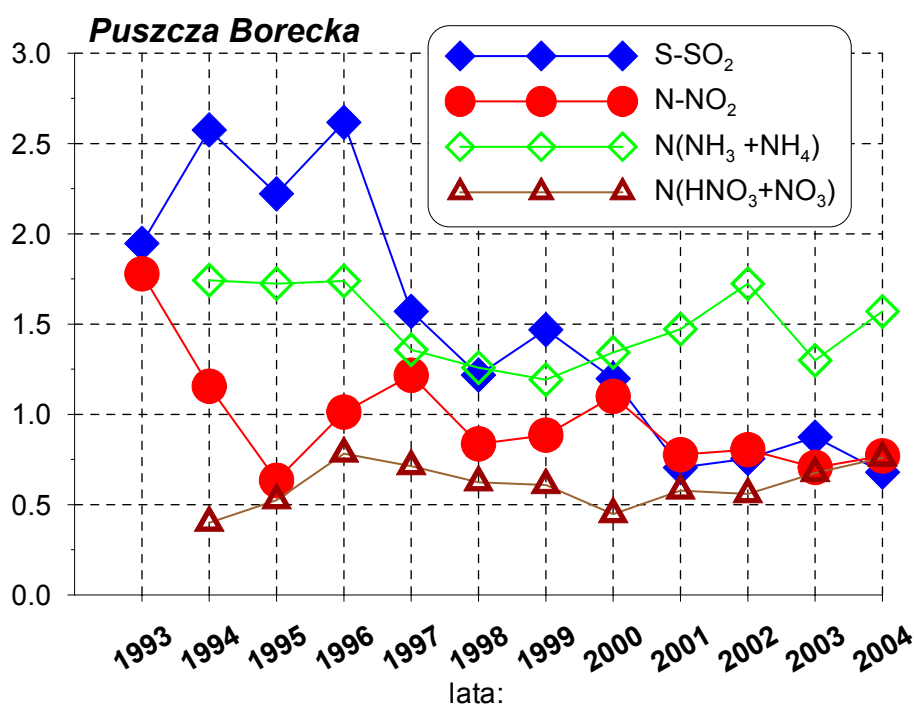
Jednym z podstawowych źródeł dopływu materii jest depozycja atmosferyczna. Powietrze jest jednym z elementów środowiska przyrodniczego, który podlega silnej antropopresji. Zawarte w nim związki chemiczne wskutek opadania i osadzania są wchłaniane i akumulowane przez pozostałe komponenty środowiska przyrodniczego. Znaczna ich część w formie rozpuszczonej i nierozpuszczonej dociera do powierzchni gleby z opadem atmosferycznym.

CHEMIZM POWIETRZA

W roku 2004 na wszystkich Stacjach Bazowych prowadzona monitoring chemizmu powietrza za pomocą metody pasywnej. Obok wymienionej metody na wybranych stacjach prowadzono pomiar zanieczyszczeń powietrza za pomocą metod automatycznych (Święty Krzyż) oraz metod manualnych - filtr z wymuszonym przepływem powietrza (Puszcza Borecka). W raporcie przedstawione zostaną ogólne trendy w rozkładzie podstawowych zanieczyszczeń powietrza, uzyskane w oparciu o metody automatyczne i manualne. Natomiast analiza zróżnicowania przestrzennego stężeń dwutlenku siarki i azotu między poszczególnymi stacjami zostanie przeprowadzona z wykorzystaniem wyników metody pasywnej.

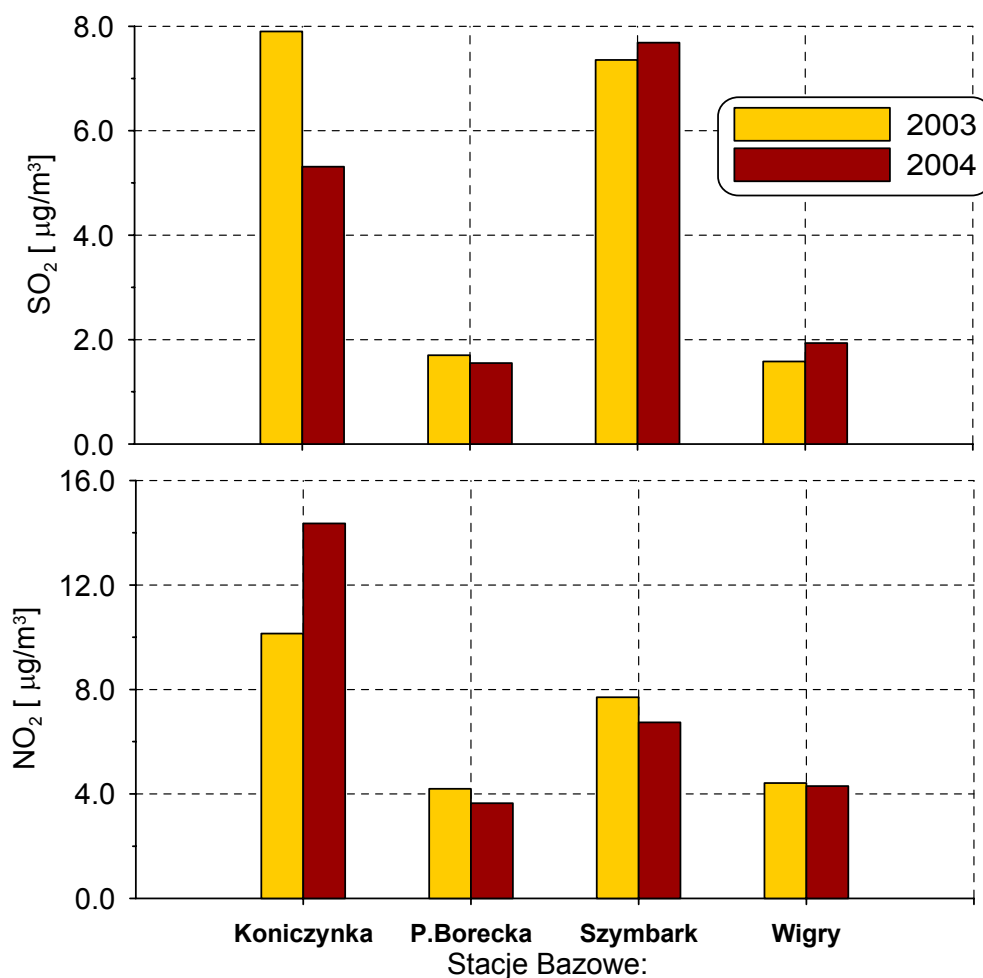
Generalnie uzyskane wyniki pomiarów stężeń zanieczyszczeń powietrza (dwutlenku siarki, związków azotu – tlenowych i beztlenowych) na stacji Puszcza Borecka potwierdzają, że rok hydrologiczny 2004 pod względem wymienionych składników nie odbiegał znacząco od lat minionych. Średnie roczne stężenie dwutlenku siarki na stacji Puszcza Borecka były niższe o 21% od poziomu z roku 2003 natomiast w przypadku siarczanów o 18% (Śnieżek 2005).

Wzrost stężeń odnotowano natomiast dla związków azotu – form beztlenowych ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3$) o 30%, dla sumy HNO_3 i NO_3 o 31%, oraz dwutlenku azotu o 5% (Śnieżek 2005). Uzyskana wartości średniego rocznego stężenia SO_2 w przeliczeniu na siarkę dla stacji na Świętym Krzyżu ($10,5\mu\text{g}/\text{m}^3$) była niższa o $0,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ od zanotowanej w roku 2003. Również w przypadku dwutlenku azotu (średnia roczna $2,4\mu\text{g N}/\text{m}^3$) w roku 2004 odnotowano spadek w stosunku do roku poprzedzającego (Jóźwiak 2005).



Ryc. 1. Średnie roczne stężenia podstawowych zanieczyszczeń powietrza na Stacji Puszcza Borecka w latach hydrologicznych 1993 – 2004

W roku 2004 po raz drugi prowadzono stałe pomiary stężenia dwutlenku siarki i azotu w powietrzu atmosferycznym metodami pasywnymi. Uzyskane w roku hydrologicznym 2003 wyniki pomiaru wymienionych zanieczyszczeń powietrza znacząco odbiegały od wartości uzyskanych innymi metodami (automatyczną – Święty Krzyż i manualną Puszcza Borecka). W roku 2004 dokonane zestawienie serii pomiarowych stężeń SO_2 i NO_2 uzyskanych metodą manualną i pasywną dla stacji Puszcza Borecka wykazują dużą zgodność, zwłaszcza w przypadku rozkładu stężeń dwutlenku siarki (Śnieżek 2005). W większości miesięcy różnice między wynikami mieściły się w granicach błędu obu metod i wynosiły od 0 do 34% (Śnieżek 2005). Podobnie w przypadku stężeń dwutlenku azotu średnie roczne stężenie uzyskane metodą pasywną na stacji Puszcza Borecka było o 38% wyższe od otrzymanego przy zastosowaniu filtra z wymuszonym przepływem powietrza (Śnieżek 2005). W przypadku poszczególnych miesięcy otrzymane wartości różniły się od 0 do 69%.



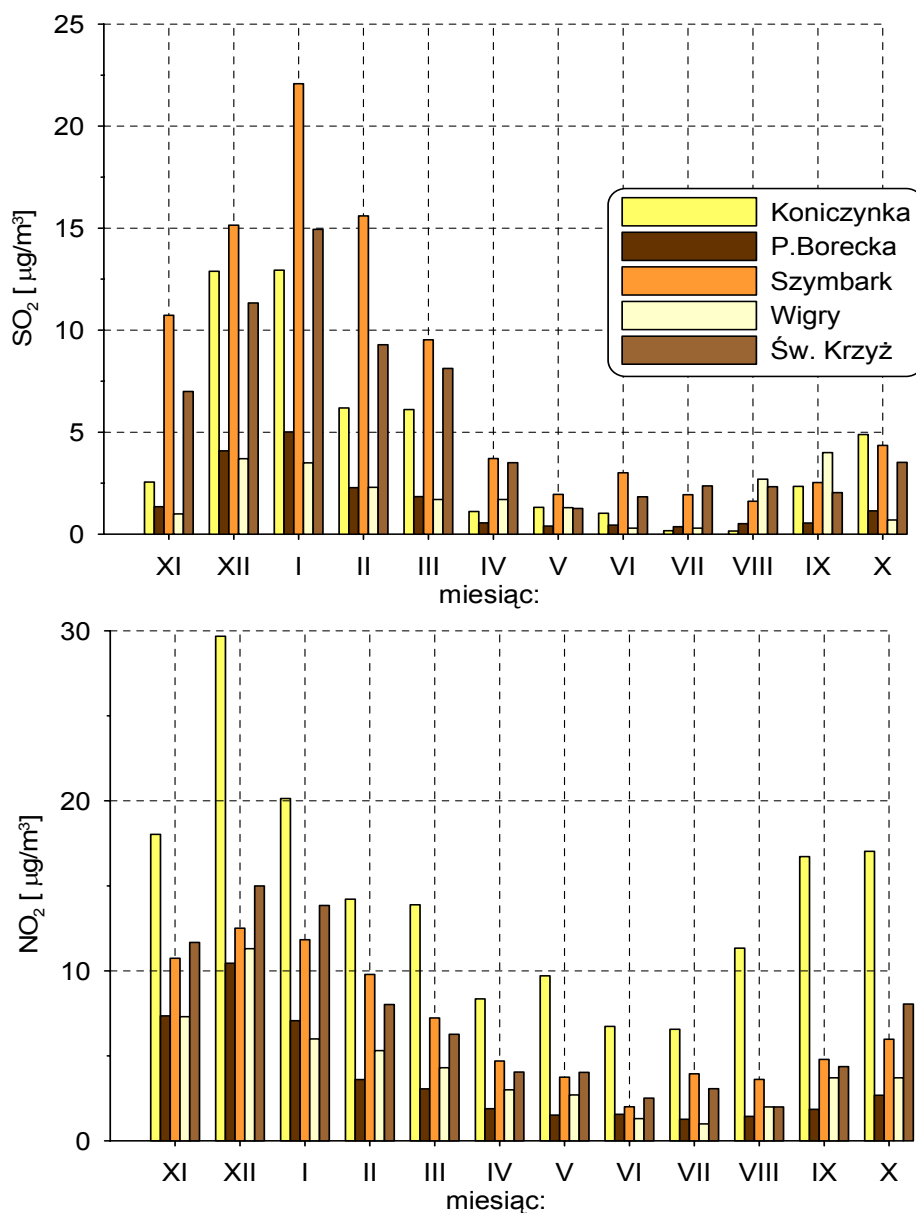
Ryc. 2. Średnie roczne stężenie dwutlenku siarki i azotu uzyskane metodą pasywną na wybranych Stacjach Bazowych w roku hydrologicznym 2003 i 2004

Uzyskane wyniki stężeń analizowanych gazów w grupie wymienionych Stacji Bazowych pozwalają wyodrębnić obszary o niskich stężeniach (Puszcza Borecka, Wigry), gdzie średnie stężenia roczne SO_2 wynoszą odpowiednio: 1,55 i 1,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast NO_2 3,64 i 4,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, oraz drugą grupę stacji, gdzie stężenia wymienionych gazów są zdecydowanie większe i kształtują się na poziomie:

- Koniczynka 5,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 i 14,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2
- Szymbark 7,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 i 6,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2
- Święty Krzyż 5,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 i 6,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2

Pierwsza grupa charakteryzuje obszary o niewielkim stopniu antropopresji, niebędących pod wpływem lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza. Uzyskane wyniki nawiązują przede wszystkim do napływu zanieczyszczeń transgranicznych i długookresowych zmian poziomu zanieczyszczeń atmosfery na poziomie tła. W przypadku Koniczynki obserwowany poziom zanieczyszczeń atmosfery dwutlenkiem siarki i azotu jest efektem oddziaływania aglomeracji Torunia oraz intensywnej gospodarki rolniczej prowadzonej na terenie zlewni Strugi Toruńskiej. Lokalne źródła emisji zanieczyszczeń powietrza obok napływu

zanieczyszczeń transgranicznych (Słowacja) to główne czynniki odpowiedzialne za wysokie stężenia omawianych zanieczyszczeń powietrza na terenie zlewni Bystrzanki (Szymbark).



Ryc. 3. Rozkład miesięczny stężeń miesięcznych dwutlenku siarki i azotu uzyskanych metoda pasywną w roku hydrologicznym 2004

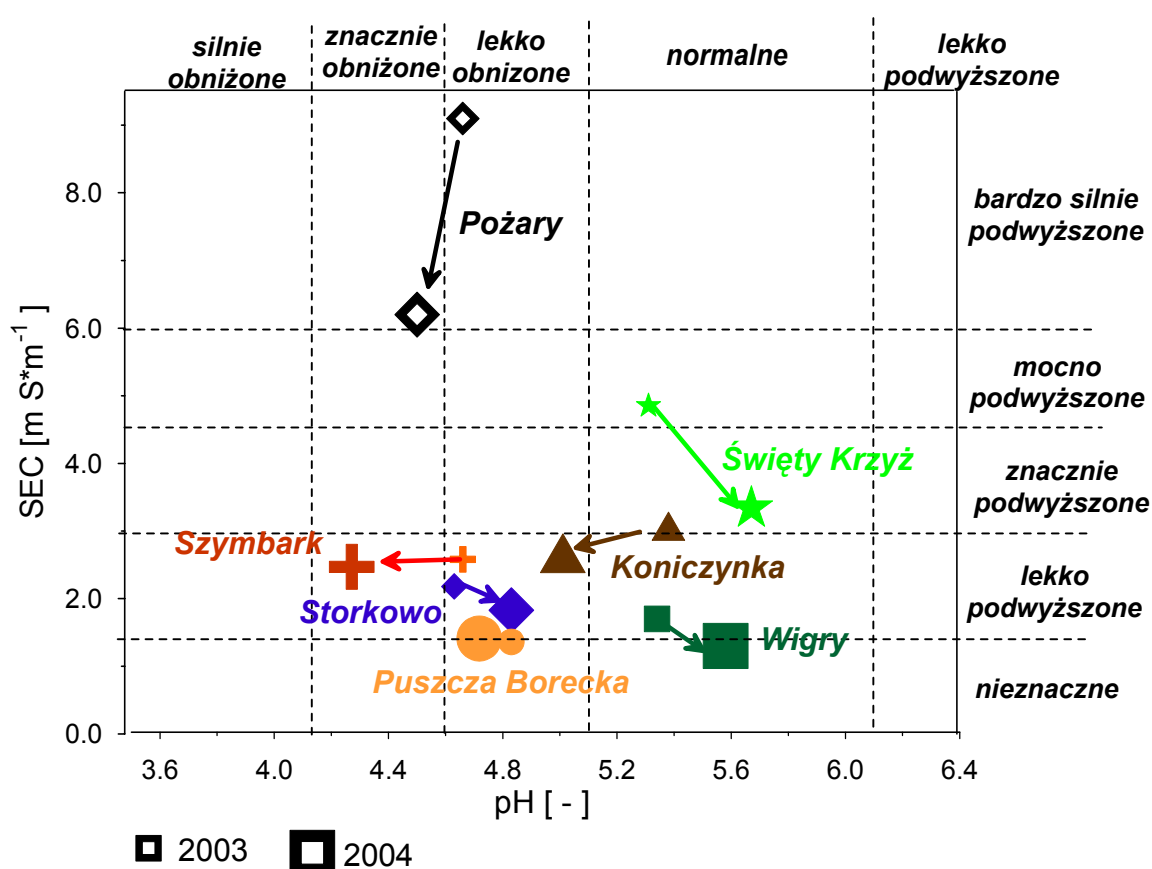
Analiza zróżnicowani czasowego stężeń zarówno dwutlenku siarki i azotu nawiązuje do podziału roku na półrocze zimowe i letnie (ryc. 3). W przypadku wszystkich wymienionych Stacji Bazowych najwyższe wartości stężeń SO₂ i NO₂ notowano w półroczu zimowym. Zdecydowanie niższe wartości stężeń analizowanych zanieczyszczeń gazowych powietrza obserwowano w cieplej porze roku.

CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH

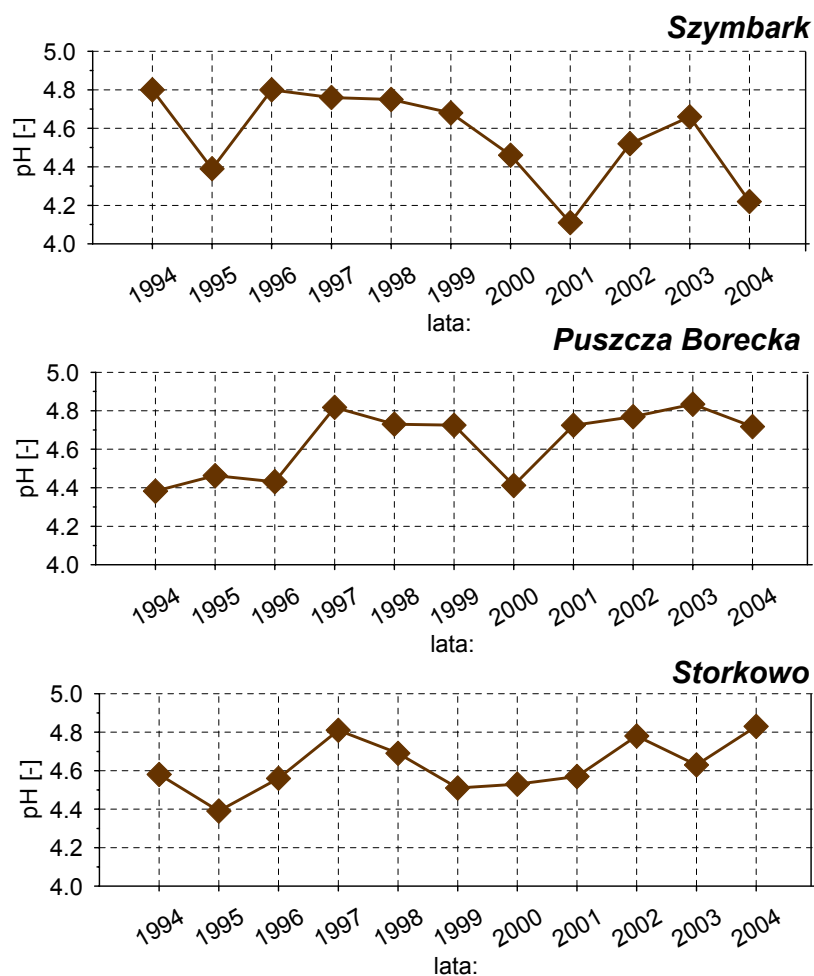
W roku hydrologicznym 2004 na wszystkich Stacjach Bazowych realizowano program chemizmu opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej. W przypadku stacji: Wigry, Storkowo, Koniczynka uzyskane charakterystyki chemiczne dotyczą opadu mokrego, pobieranego za pomocą kolektorów firmy Eigenbrodt. Pozostałe wyniki monitoringu odnoszą się do opadu całkowitego (chwytnice opadu eksponowane całą dobę, niezależnie czy opad wystąpił czy też nie chwytnicz był przemywany wodą dejonizowaną).

Średnie miesięczne wartości pH i przewodności elektrolitycznej uzyskano w oparciu o próby dobowe opadu (frakcja całkowita), natomiast w przypadku składu jonowego analizowane były próby zlewane w okresach tygodniowych lub miesięcznych.

Rok hydrologiczny 2004 w porównaniu do lat poprzedzających (roku 2002 i 2003) wyróżnił się warunkami opadowymi zbliżonymi do wartości z wielolecia. Fakt ten miał istotne znaczenie dla wielkości depozycji substancji rozpuszczonych wnoszonych z opadem atmosferycznym do podłoża.



Ryc. 4. Wartości średnie ważone roczne pH i przewodnictwa elektrycznego opadu atmosferycznego w roku hydrologicznym 2003 i 2004

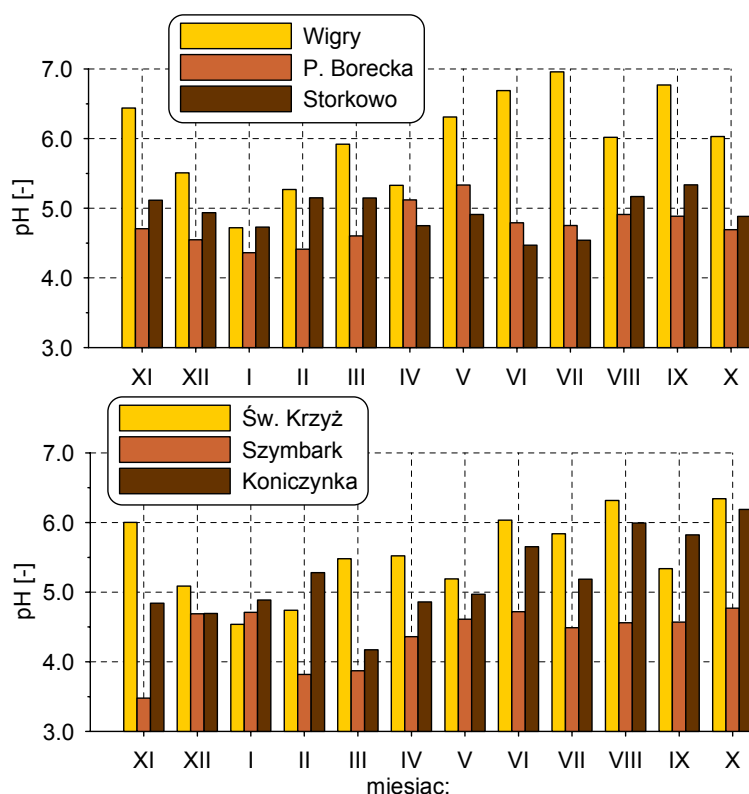


Ryc. 5. Rozkład pH w latach hydrologicznych 1994 – 2004 na wybranych Stacjach Bazowych

Wartość pH, która jest wskaźnikiem informującym o równowadze kwasowo-zasadowej pomiędzy rozpuszczonymi i zdysocjowanymi składnikami wody, jest ściśle zależna od ilości zanieczyszczeń pyłowych i gazowych zawartych w powietrzu. Analiza średnich ważonych rocznych wartości pH pozwala zaklasyfikować opady atmosferyczne do grupy o pH lekko obniżonym (Storkowo – 4,83, Puszcza Borecka – 4,72, Konieczynka – 5,01) oraz normalnym (Wigry – 5,58, Święty Krzyż – 5,67) (Ryc. 4). Tylko w przypadku dwóch Stacji Bazowych (Pożary oraz Szymbark) średnie roczne pH kształtowało się w przedziale pH znacznie obniżonego i wyniosło odpowiednio: 4,50 i 4,27. Rozkład pH opadów atmosferycznych uzyskany dla badanych obszarów w porównaniu do roku poprzedzającego nie wykazuje jednoznacznych trendów. W przypadku stacji: Storkowo, Wigry, Święty Krzyż odnotowane wartości w roku 2004 były wyższe w porównaniu do roku 2003. W grupie pozostałych stacji zaznacza się spadek wartości pH, szczególnie wyraźny w przypadku Stacji Bazowej Szymbark, gdzie uzyskana wartość średnia roczna jest jedną z niższych w całym okresie prowadzenia badań (ryc. 5). Proces zakwaszania wód opadowych na obszarze zlewni Bystrzanki potwierdza również częstość występowania opadów o określonym pH. W roku hydrologicznym 2004 przeważały opady o pH znacznie obniżonym

mniejszym od 4,6, stanowiły one 31% wszystkich obserwacji (Bochenek 2005). Wzrost udział tej grupy opadów zanotowano także na terenie zlewni jeziora Łękek (Stacja Bazowa Puszcza Borecka). Klasa opadów o pH normalnym (5,1 – 6,0) dominowała w strukturze opadów na stacji: Storkowo, Koniczynka, oraz Święty Krzyż.

Wartości skrajne pH wód opadowych, uzyskane na podstawie próbek dobowych kształtowały się w szerokim zakresie od wartości pH silnie obniżonych: 3,50 (Puszcza Borecka), 3,84 (Storkowo) do wartości podwyższonych: 6,76 (Puszcza Borecka), 7,31 (Storkowo) oraz 7,93 (Wigry). Uzyskana amplituda pH opadów atmosferycznych dla wyżej wymienionych stacji wyniosła odpowiednio: Puszcza Borecka (3,23), Storkowo (3,47) oraz Wigry (3,52).

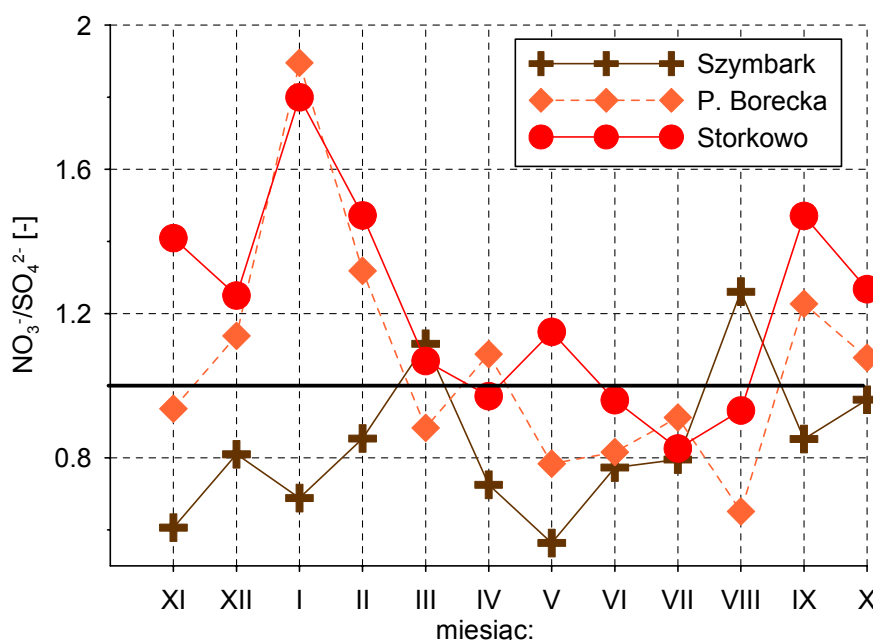


Ryc. 6. Czasowe zróżnicowanie pH opadów atmosferycznych na Stacjach Bazowych w roku hydrologicznym 2004. Próby dobowe

Najniższe wartości pH odnotowano w półroczu zimowym, taki rozkład charakterystyczny jest dla stacji: Wigry, Koniczynka, Święty Krzyż. W przypadku Puszczy Boreckiej i Storkowa obserwowano wysokie wartości pH na początku wiosny (marzec –maj). W zlewni Bystrzanki opady o pH silnie obniżony dominowały w listopadzie oraz lutym i marcu.

Czasowe zróżnicowanie pH opadów atmosferycznych w znacznym stopniu nawiązuje do rozkładu stężeń dwutlenku siarki i azotu w powietrzu atmosferycznym (ryc. 3, 6). Uzyskane związki statystyczne przyjmują postać zależności wprost proporcjonalnych zarówno dla stężeń dwutlenku siarki i azotu. Należy jednak nadmienić, że poza stacją

Puszcza Borecka moc statystyczna otrzymanych korelacji jest niewielka. Główną przyczyną jest odmienna metodyka pobierania próbek opadu dla pomiaru pH (próbki dobowe), natomiast pomiar zanieczyszczeń powietrza oparty jest o metody pasywne, z miesięcznym czasem ekspozycji. Niewątpliwie istotnym czynnikiem, który decyduje o kwasowości wód opadowych jest stężenie ozonu. Gaz ten uczestniczy w reakcjach utlenienia dwutlenku siarki, co w końcowym efekcie powoduje zakwaszanie wód opadowych. Brak istotnych korelacji między wymienionymi składnikami powietrza a stężeniem jonów wodorowych świadczy o złożoności procesu powstawania i neutralizacji kwasu siarkowego i azotanowego, o których decydować mogą również inne jony obecne w wodach opadowych.



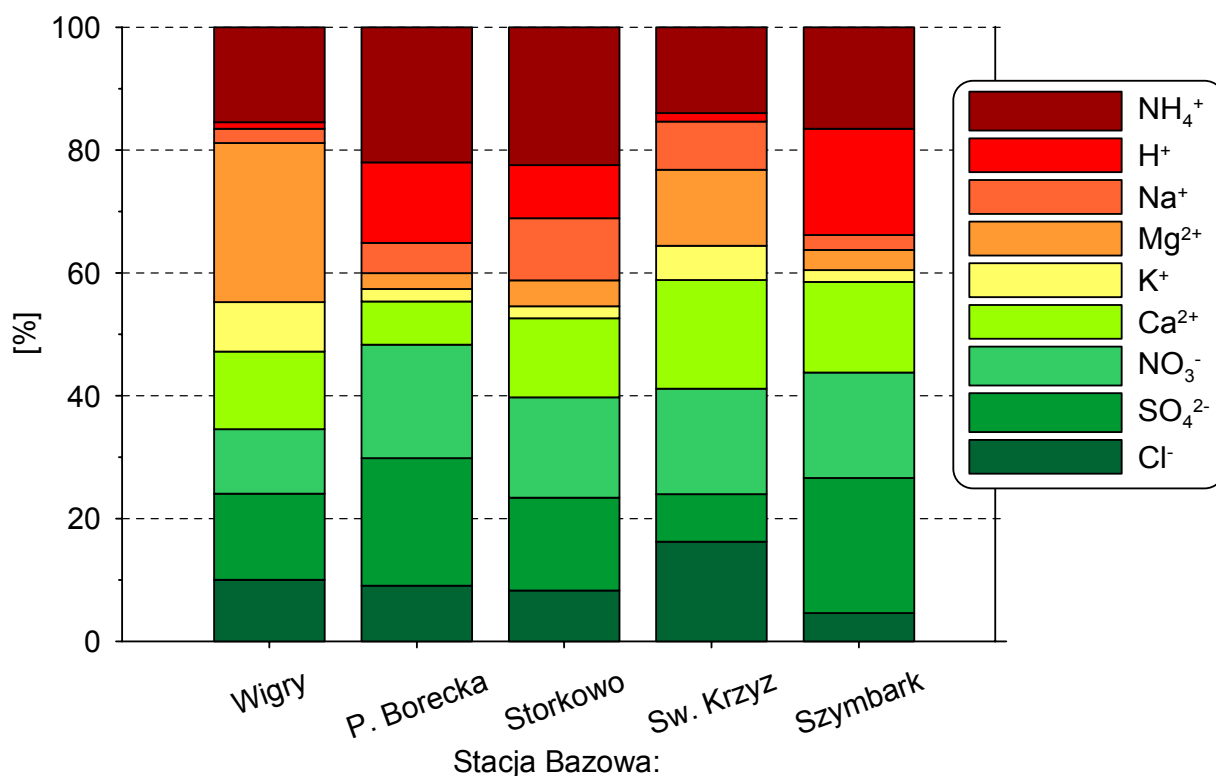
Ryc. 7. Stosunek średnich miesięcznych stężeń w $\mu\text{eq/L}$ jonów NO_3^- i SO_4^{2-} w opadach atmosferycznych w roku hydrologicznym 2004
 stężenie SO_4^{2-} zostało skorygowane o zawartość siarczanów pochodzących z aerozoli morskich

Stosunek ekwiwalentnych stężeń azotanów do siarczanów, skorygowanych o siarczany pochodzenia morskiego (Manual 1998) potwierdza coraz większą rolę w procesach zakwaszania wód opadowych tlenków azotu. Udział azotanów jest szczególnie widoczny w przypadku stacji zlokalizowanych na obszarach o niewielkim stopniu antropopresji (Storkowo -1,1, P. Borecka – 0,9, Wigry 0,8 – wartości średnie roczne). Najwyższy udział tlenków azotu w procesach zakwaszania opadów atmosferycznych obserwowano w półroczu zimowym (ryc. 7).

Średnie ważone roczne przewodnictwo elektryczne w roku hydrologicznym 2004 w przypadku większości Stacji Bazowych mieściło się w grupie wartości lekko podwyższonych (stacje: Koniczynka, Storkowo, Szymbark). Dwie stacje zaklasyfikowano do grupy wartości konduktancji nieznacznej (Puszcza Borecka, Wigry).

Najwyższą mineralizacją charakteryzowały się opady atmosferyczne na obszarze Kampinoskiego PN (Pożary). Średnie ważone roczne przewodnictwo elektryczne w przypadku tej stacji wyniosło 6,2mS/m, co oznacza wg klasyfikacji Jansena, Blocka i in. wartość bardzo silnie podwyższoną.

Zestawienie wartości przewodnictwa elektrycznego w analizowanym roku i roku 2003, potwierdza, że w przypadku wszystkich Stacji Bazowych nastąpił spadek mineralizacji wód opadowych. Przyczyną spadku konduktancji jest przede wszystkim wzrost rocznej sumy opadów atmosferycznych. Dla większości jonów wartości stężeń a tym samym mineralizacja są ujemnie skorelowane z wysokością opadów atmosferycznych.

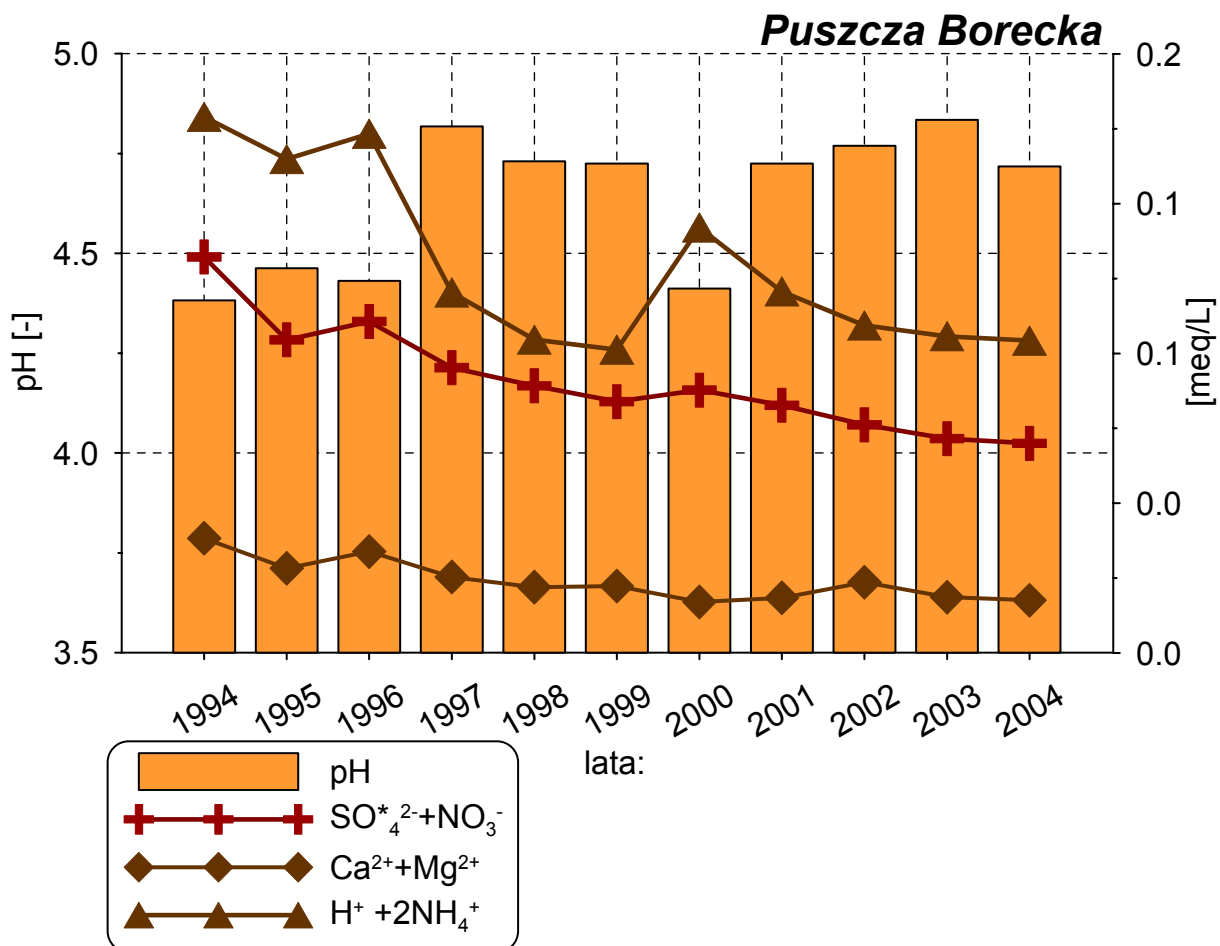


Ryc. 8. Udział głównych jonów w składzie chemicznym opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2004 na wybranych Stacjach Bazowych

Analiza składu chemicznego opadów atmosferycznych przeprowadzona dla roku hydrologicznego 2004 wskazuje, że w przypadku grupy anionów największym udziałem procentowym charakteryzują się jony siarczanowe i azotanowe (Ryc. 8). Stan ten nie odbiega istotnie od składu procentowego anionów w roku 2003. Zaznacza się jednak coraz większe znaczenie w składzie chemicznym opadów atmosferycznych azotanów. Wśród kationów największym udziałem procentowym wyróżniają się jony amonowe (Storkowo, Puszcza Borecka). W opadzie atmosferycznym na Świętym Krzyżu w skali całego największe stężenia odnotowano dla jonów wapniowych, natomiast jony magnezowe były głównym kationem w opadach na stacji Wigry. Obecność procesów zakwaszania opadów na terenie zlewni Bystrzanki (Szymbark) potwierdza wysoki udział procentowy jonów

hydroniowych w składzie chemicznym opadów atmosferycznych. Należy wspomnieć, że w roku 2003 jon hydroniowy nie odgrywał dominującej roli w składzie chemicznym wód opadowych w żadnej ze Stacji Bazowych (Kruszyk 2004).

Zestawienie wartości z wielolecia dla Szymbarku i Puszczy Boreckiej, które to stacje różnią się stopniem zanieczyszczenia powietrza, potwierdza występowanie trendu spadkowego zarówno w przypadku sumy stężeń związków kwasogennych jak również głównych kationów alkalicznych (ryc. 9). Tendencja ta zaznacza się także w przypadku rozkładu kwasowości potencjalnej, która jest definiowana jako suma stężeń $H^+ + 2NH_4^+$ (Gower 1990). Trend spadkowy jest szczególnie widoczny w przypadku stacji Puszcza Borecka, w przypadku, której o poziomie pH decyduje w głównej mierze stężenie substancji kwasogennych obecnych w powietrzu, natomiast fluktuacje stężeń kationów alkalicznych mają mniejsze znaczenie.



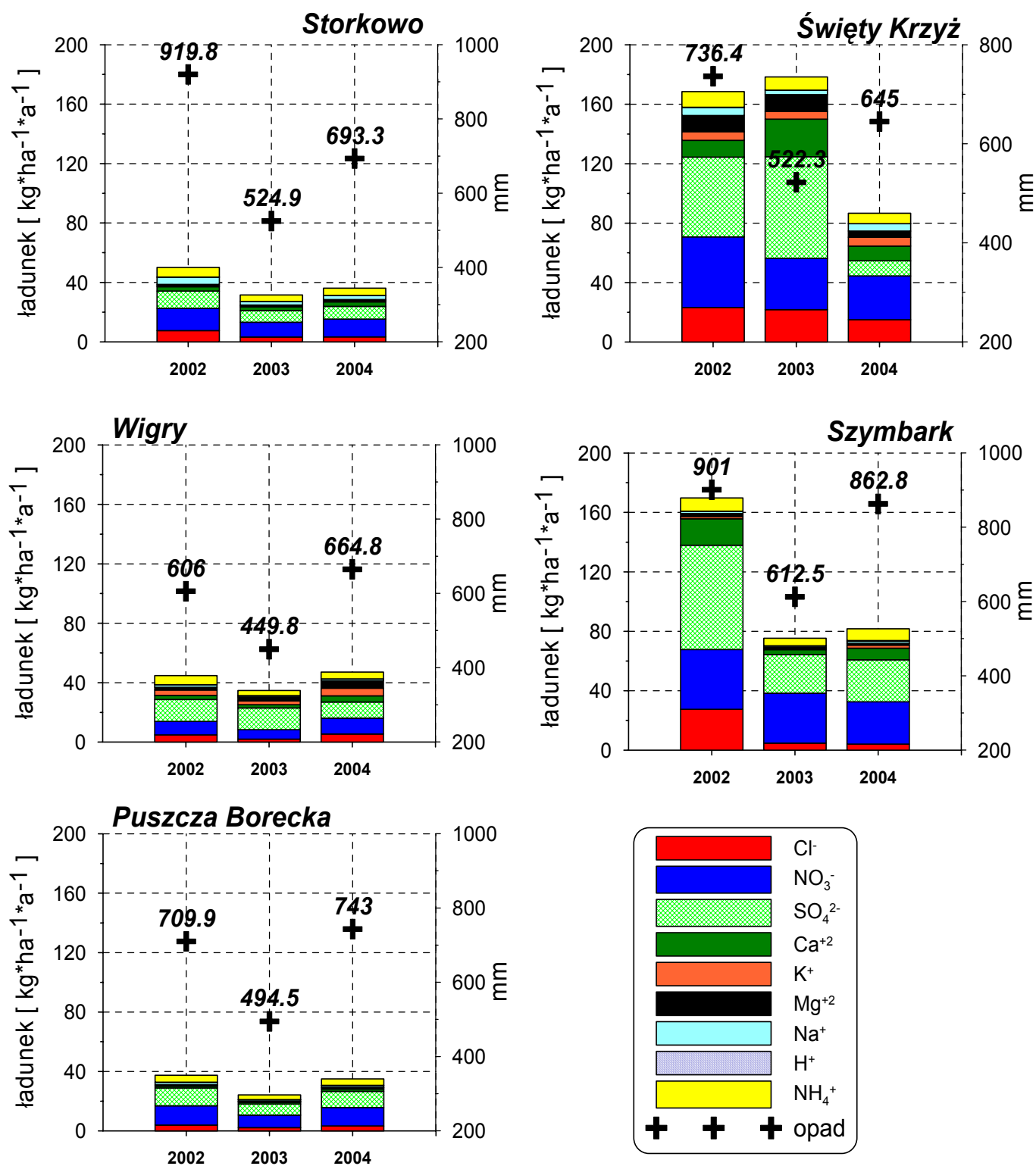
Ryc. 9. Rozkład sumy stężeń $SO_4^{2-} + NO_3^-$, $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ oraz kwasowości potencjalnej ($H^+ + 2NH_4^+$) na tle pH opadów atmosferycznych w latach 1994-2004 dla stacji Puszcza Borecka.

stężenie SO_4^{2-} zostało skorygowane o zawartość siarczanów pochodzących z aerozoli morskich

Tabela 1. Zestawienie stężeń wybranych jonów w opadzie atmosferycznym w roku hydrologicznym 2002, 2003 i 2004 na tle klasyfikacji Jansena, Blocka i Knaacka (1988)

Stacja Bazowa	Puszcza Borecka	Storkowo	Wigry	Święty Krzyż	Szymbark
Parametr [mg/L]	2002				
Cl⁻	0,55	0,82	0,96	3,15	3,05
NO₃⁻	1,86	1,64	1,82	6,46	4,47
SO₄²⁻	1,72	1,26	2,97	7,30	7,79
NH₄⁺	0,67	0,69	1,24	1,43	0,98
2003					
Cl⁻	0,45	0,61	0,45	4,17	0,77
NO₃⁻	1,68	1,90	1,42	6,60	5,49
SO₄²⁻	1,53	1,50	3,24	13,09	4,25
NH₄⁺	0,63	0,82	0,76	1,70	0,84
2004					
Cl⁻	0.44	0.47	0.82	2.33	0.47
NO₃⁻	1.67	1.73	1.59	4.56	3.30
SO₄²⁻	1.46	1.24	1.65	1.59	3.27
NH₄⁺	0.58	0.69	0.68	1.08	0.92
	Nieznaczna			Mocno podwyższona	
	Lekko podwyższona			Bardzo podwyższona	
	Podwyższona				

Porównując uzyskane wyniki średnich rocznych stężeń dla jonów: siarczanowych, azotanowych, chlorkowych oraz amonowych z wartościami progowymi klasyfikacji Jansena i in. (Leśniok 1998) dla lat: 2002, 2003 widać wyraźny spadek stężeń wymienionych elementów składu chemicznego opadów w roku 2004 (tab. 1). Średnie roczne stężenia siarczanów w roku 2004 dla wymienionych Stacji Bazowych nie przekroczyły progu 4,0mg/L, uważanego za stężenie podwyższone. Redukcja stężeń SO₄ jest szczególnie zauważalna dla stacji na Świętym Krzyżu. Spadek ten jest skorelowany ze spadkiem kwasowości opadów atmosferycznych. Niewątpliwie głównym czynnikiem, który jest odpowiedzialny za spadek stężeń widoczny w roku 2004 w relacji do roku poprzedzającego jest wzrost sumy rocznej opadów atmosferycznych oraz stabilność lub zauważalny trend spadkowy zanieczyszczeń powietrza.



Ryc. 10. Zestawienie wielkości depozycji atmosferycznej w latach 2002, 2003 i 2004 na tle sum opadów atmosferycznych

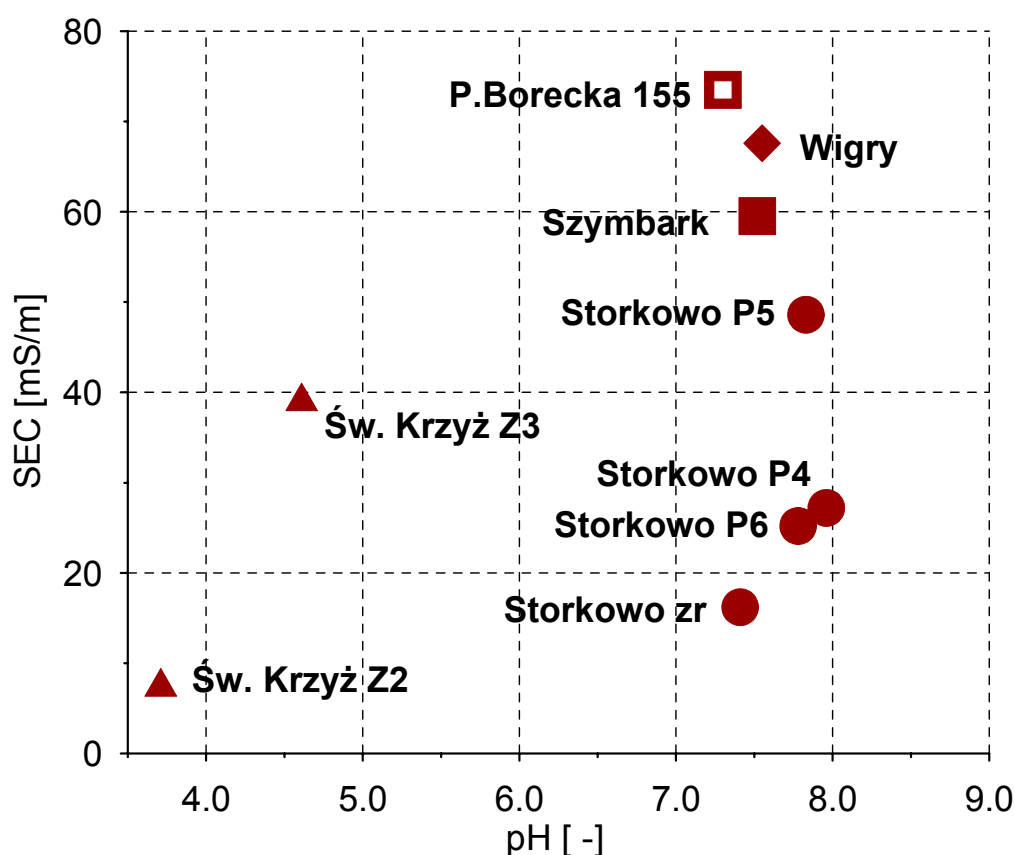
Istotnym elementem dla funkcjonowania geoeosystemów jest wielkość rocznej depozycji atmosferycznej i jej struktura. Ubiegły rok hydrologiczny pod względem sum opadów atmosferycznych został zaklasyfikowany jako deficytowy. Deficyt opadów atmosferycznych oraz ich niewielka mineralizacja ograniczyły wydatnie wielkość depozycji atmosferycznej, zwłaszcza w przypadku tych stacji, gdzie zanieczyszczenie opadów jest nieznaczne i porównywalne z wartościami tłowymi dla Polski. Rok hydrologiczny 2004 pod względem sum rocznych opadów nie odbiegał od wartości normalnych dla poszczególnych Stacji Bazowych. Otrzymane wartości depozytu atmosferycznego dla stacji: Wigry, Puszcza Borecka oraz Storkowo były większe w stosunku do deficytowego w opady roku 2003. Przy stabilizacji lub trendzie spadkowym mineralizacji podstawowym czynnikiem, który decyduje o ładunku jonów w przypadku wymienionych stacji jest suma roczna opadów atmosferycznych.

Dla stacji: Święty Krzyż oraz Szymbark, gdzie poziom zanieczyszczenia opadów atmosferycznych jest zdecydowanie większy generalnie odnotowano spadek ładunku substancji rozpuszczonych wnoszonych z opadem atmosferycznym do podłoża. Szczególna wysoka redukcja ładunku widoczna w przypadku Stacji Bazowej Święty Krzyż związana jest ze spadkiem stężeń jonów siarczanowych i wapniowych oraz w mniejszym stopniu jonów azotanowych (ryc. 10). Obok sumy rocznej opadów dla wielkości rocznej depozycji atmosferycznej w przypadku tych stacji mają znaczenie fluktuacje poziomu zanieczyszczenia powietrza, związanego z lokalnymi źródłami emisji.

WODY PODZIEMNE

W ramach ZMŚP na Stacjach Bazowych prowadzone są obserwacje stanów oraz badany jest skład chemicznych wód podziemnych. Stały monitoring tego komponentu środowiska przyrodniczego jest konieczny gdyż wody te stanowią jedną z dróg ucieczki materii poza geoekosystem, a płytko zalegając mogą również zasilać roślinność w składniki pokarmowe.

W roku hydrologicznym 2004 na wszystkich stacjach prowadzono badania wód podziemnych w oparciu o: źródła (Święty Krzyż, Storkowo, Szymbark), pojedyncze punkty poboru - studnie kopane, pojedynczy piezometr (Puszcza Borecka, Wigry), sieć piezometrów (Storkowo, Pożary). Należy zaznaczyć, że prezentowane wyniki badań dotyczą różnych poziomów wodonośnych monitorowanych przez poszczególne Stacje Bazowe.

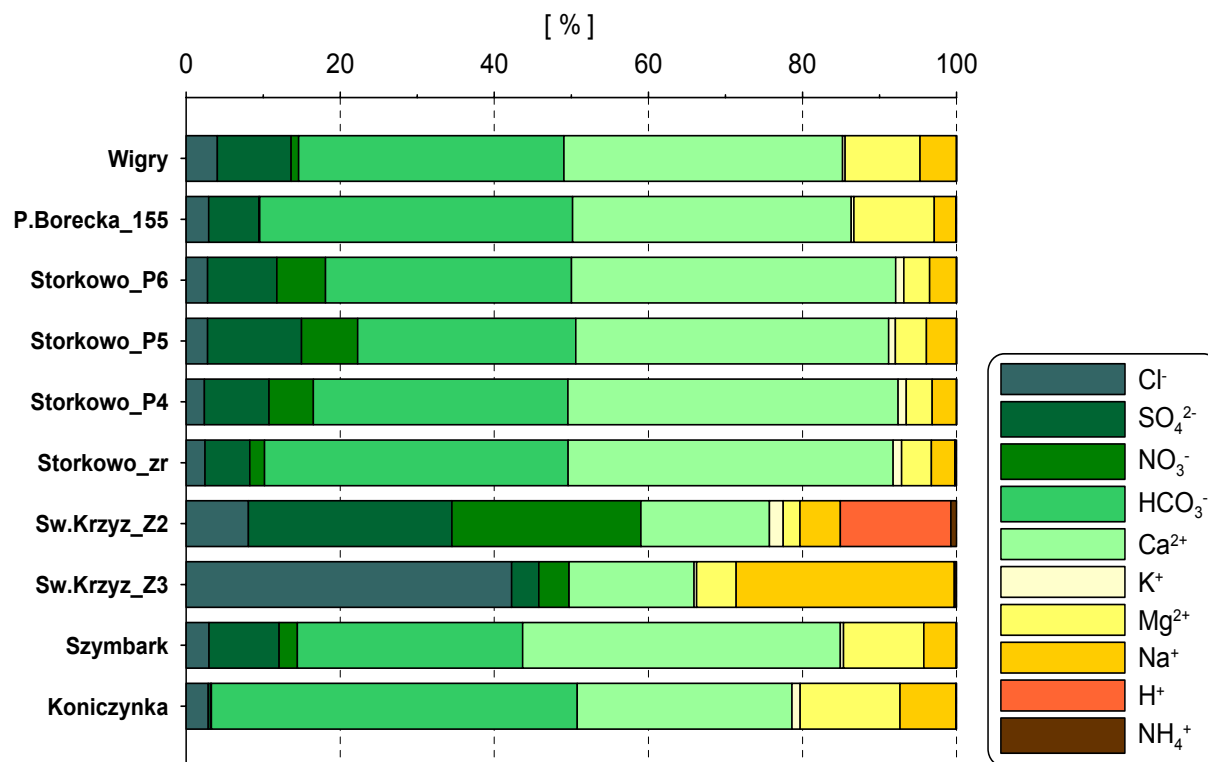


Ryc. 1. Średnie roczne wartości pH i przewodności elektrolitycznej wód podziemnych w roku hydrologicznym 2004

Uzyskane wyniki pH i przewodności elektrolitycznej wskazują, że badane wody podziemne należą do wód obojętnych i alkalicznych, wysokozmineralizowanych (ryc. 1). Wyjątek stanowią wody źródła Z2 i Z3 na Świętym Krzyżu. W roku hydrologicznym 2004

średnie roczne pH w źródle Z2 położonym pod gołoborzami w części wierzchwinowej wyniosło 3,71. Mniej kwaśne okazały się wody źródła Z3, położonego u podnóża stoku. Średnie roczne pH wyniosło 4,61 i tym samym potwierdzając okresowe wzbogacanie tych wód w wymywane z gleb kwaśne lub zasadowe składniki w porównaniu do źródła zlokalizowanego w wierzchwinowej części zlewni (Jóźwiak 2005). Na podstawie klasyfikacji Altowskiego i Szwieca badane wody źródła Z2 zaliczono wód siarczanowo-chlorkowo-wapniowo-sodowo-magnezowych, natomiast wody źródła Z3 do wód chlorkowo-sodowo-wapniowych. Znaczący udział w składzie chemicznym wód źródła Z2 i Z3 chlorków i sodu wskazuje na ich antropogeniczne zanieczyszczenie.

Wody ze źródła „Wiatrówki”, położonego w zlewni Bystrzanki, charakteryzują się składem chemicznym, który pozwala je zaliczyć w klasyfikacji Altowskiego i Szwieca do typu czterojonowego wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowo-magnezowego.



Ryc. 2. Skład chemiczny wód podziemnych badanych na Stacjach Bazowych w roku hydrologicznym 2004.

Wody podziemne monitorowane w zlewni Strugi Toruńskiej reprezentują typ hydrochemiczny wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowy. Średnia roczna wartość przewodności elektrolitycznej kształtowała się na poziomie 79,1mS/m i była nieznacznie większa od wielkości charakterystycznej dla wielolecia (1994 – 2004).

Tabela 1 Klasyfikacja wód podziemnych wg Altowskiego i Szwieca

Stacja Bazowa (stanowisko)	Typ hydrochemiczny
Symbark	$\frac{HCO_3^{71} SO_4^{22} Cl^7}{Ca^{74} Mg^{19} Na^7}$
Wigry	$\frac{HCO_3^{72} SO_4^{20} Cl^8}{Ca^{71} Mg^{19} Na^9}$
Puszcza Borecka S155	$\frac{HCO_3^{81} SO_4^{13} Cl^6}{Ca^{73} Mg^{21} Na^6}$
Storkowo P6	$\frac{HCO_3^{73} SO_4^{21} Cl^6}{Ca^{86} Na^7 Mg^7}$
Storkowo P5	$\frac{HCO_3^{65} SO_4^{28} Cl^6}{Ca^{84} Mg^8 Na^8}$
Storkowo P4	$\frac{HCO_3^{75} SO_4^{19} Cl^5}{Ca^{87} Mg^7 Na^6}$
Storkowo ZR	$\frac{HCO_3^{83} SO_4^{12} Cl^5}{Ca^{86} Mg^8 Na^6}$
Święty Krzyż (Z2)	$\frac{SO_4^{77} Cl^{23} HCO_3^0}{Ca^{69} Na^{22} Mg^{18}}$
Święty Krzyż (Z3)	$\frac{Cl^{92} SO_4^8 HCO_3^0}{Na^{57} Ca^{33} Mg^{10}}$
Koniczynka	$\frac{HCO_3^{94} Cl^6 SO_4^1}{Ca^{58} Mg^{27} Na^{15}}$

Wody podziemne badane w Sobolewie (Stacja Bazowa Wigry) zaliczono do wód wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowo-magnezowych. Porównując stężenia uzyskane w roku hydrologicznym 2004 do wartości z wielolecia zaznacza się stabilność składu chemicznego. W przypadku jonów amonowych, manganu, żelaza odnotowano spadek stężeń w stosunku do roku ubiegłego.

W zlewni jeziora Łękek monitoring wód podziemnych oparty jest o dwa stanowiska: studni wierconej o głębokości 32m (stanowisko nr 155) oraz kopanej o głębokości 5m (stanowisko nr 152). Monitorowane wody należą do typu hydrochemicznego

wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowego. Uzyskane parametry fizykochemiczne analizowanych wód charakteryzują się dużą stabilnością. W porównaniu do lat ubiegłych w roku hydrologicznym 2004 wzrosło stężenie jonów amonowych, fosforanów oraz w mniejszym stopniu: wapnia, sodu i magnezu dla wód podziemnych pobieranych w punkcie nr 155 (Śnieżek 2005). W przypadku studni kopanej (152) odnotowano wzrost stężeń: chlorków, siarczanów oraz wapnia, żelaza, manganu i cynku.

Monitoringu wód podziemnych w zlewni górnej Parsęty (Storkowo) oparty jest o system piezometrów, położonych w transekcie: wododział (piezometr P6), środkowa część stoku (piezometr P5) oraz podnóże stoku (piezometr P4). Pomiarami objęty jest także wysięk w obrębie źródła Chwalimskiego Potoku, w zlewni, którego zlokalizowane są wymienione punkty poboru wód podziemnych. Wody z wymienionych ujęć reprezentują pierwszy poziom wodonośny i pod względem składu chemicznego reprezentują wody proste, w trzech przypadkach wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowe (piezometry: P6, P5, P4) natomiast w przypadku źródła wodorowęglanowo-wapniowe (Zr) (Szpikowska 2005). Mineralizacja wód podziemnych mieści się w przedziale od 120,6mg/L w przypadku wysięku w źródle do 403,0mg/L odnotowanej dla stanowiska P5. Zestawienie stężeń podstawowych jonów uzyskanych w roku hydrologicznym 2004 w porównaniu do wartości z wielolecia potwierdza stabilności składu chemicznego wód pierwszego poziomu wodonośnego w zlewni Chwalimskiego Potoku.

WODY POWIERZCHNIOWE

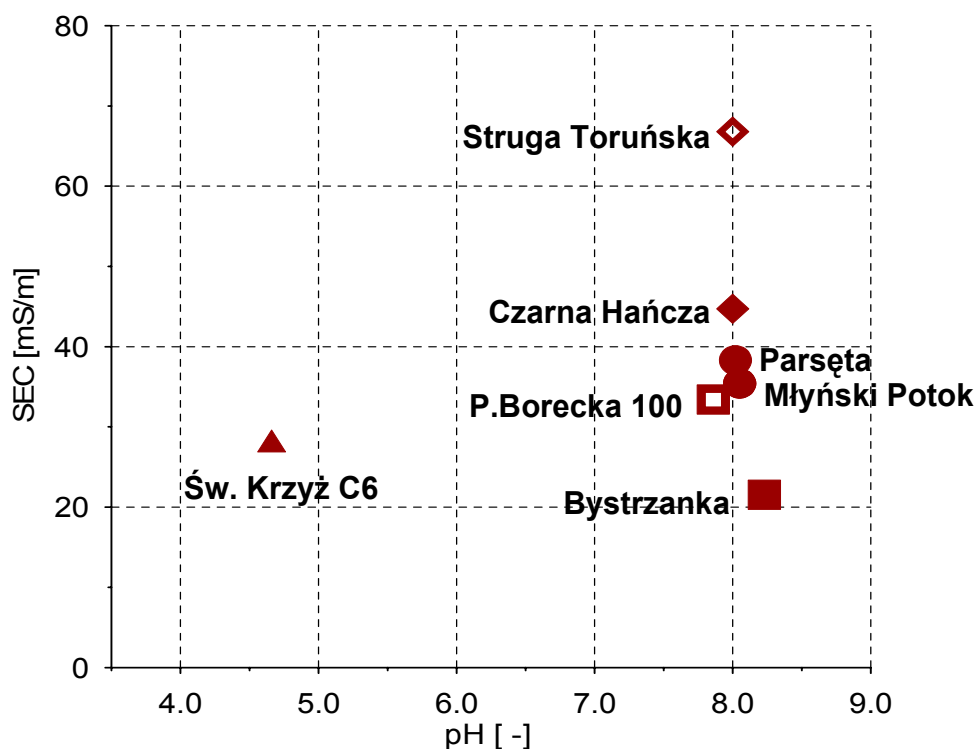
Odpływ powierzchniowy jest główną drogą odprowadzania substancji rozpuszczonych i zawieszonych z obszaru zlewni. Substancje obecne w odpływie powierzchniowym mogą pochodzić z dostawy atmosferycznej, obiegu biologicznego, procesów denudacyjnych oraz w coraz w większym stopniu z dostawy związanej z działalnością człowieka, szczególnie na obszarach zurbanizowanych i intensywnie wykorzystywanych rolniczo.

Monitoring wód powierzchniowych prowadzony był na wszystkich Stacjach Bazowych, a realizowany zakres pomiarowy nawiązuje przede wszystkim do specyfiki danego obszaru pod względem wykształcenia i rozwoju sieci rzecznej.

Zestawienie składu chemicznego wód opadowych, roztworów glebowych oraz wód podziemnych i wód powierzchniowych wskazuje, że w zasilaniu koryt rzecznych na obszarach o niewielkim stopniu antropopresji ważne znaczenie mają wody śródglebowe i podziemne. Parametry chemiczne tych wód są wypadkową czasu krążenia wody w zlewni, natężenia i charakteru procesów biogeochemicznych oraz dostępnych zasobów związków kwaśnych i alkalicznych w glebie.

Pod względem pH oraz przewodności elektrolitycznej wody powierzchniowe analizowane w ramach programu H1 należą do wód o odczynie obojętnym lub zasadowym, wysoko zmineralizowanych. 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 atmosferycznego związków kwasogennych.

Pod względem składu chemicznego analizowane wody reprezentują wody proste: wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe (Czarna Hańcza, odpływ 100 z jez. Łękek), wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowe (Parsęta, Struga Toruńska), wapniowo-siarczanowo-wodorowęglanowe (Bystrzanka) oraz siarczanowo-chlorkowo-wapniowo-magnezowe (potok na Świętym Krzyżu C6). Porównując udział poszczególnych jonów w wodach rzecznych w latach: 2003 i 2004 widoczna jest stabilność składu chemicznego. Największe różnice odnotowano w składzie chemicznym wód Bystrzanki stacja Szymbark w udziale procentowych siarczanów i wodorowęglanów. W roku hydrologicznym 2004 stężenia wodorowęglanów były najniższe od roku 2000, natomiast wzrósł w odpływie powierzchniowym udział siarczanów. Przyczyną takiego stanu rzeczy był zróżnicowany w ciągu roku przebieg zasilania koryta cieku.

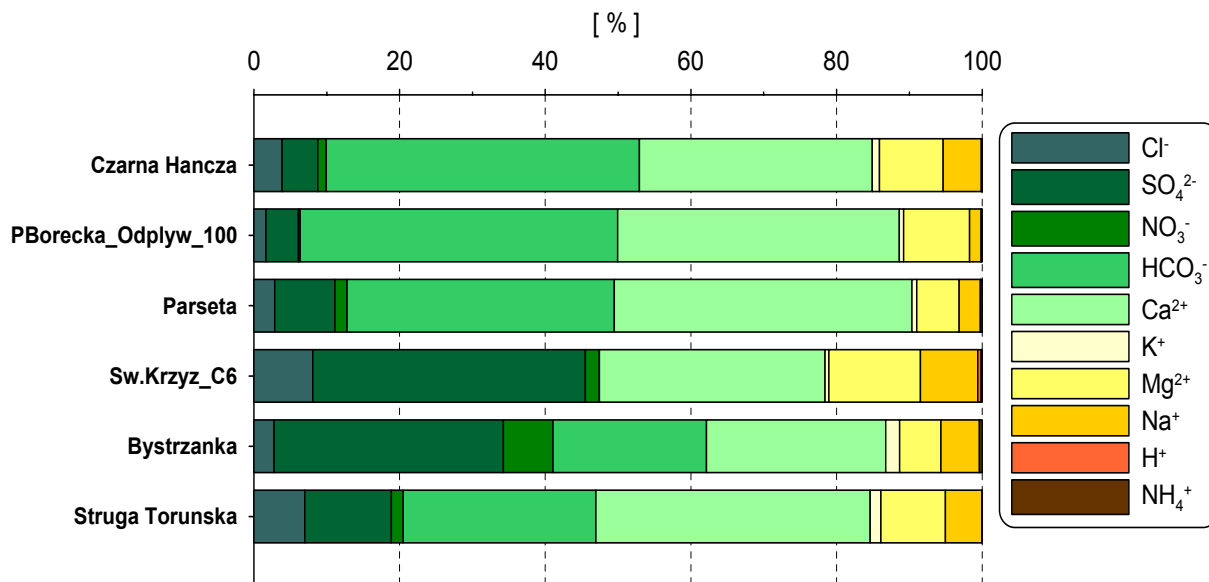


Ryc. 1. Rozkład pH i przewodności elektrolitycznej wód powierzchniowych na Stacjach Bazowych w roku 2004

Tabela. 1. Klasyfikacja hydrochemiczna wg. Altowskiego i Szwieca wód powierzchniowych w roku hydrologicznym 2004

Stacja Bazowa	Typ hydrochemiczny
Szymbark Bystrzanka	$\frac{SO_4^{57} HCO_3^{38} Cl^5}{Ca^{69} Mg^{16} Na^{15}}$
Wigry Czarna Hańcza Sobolewo	$\frac{HCO_3^{83} SO_4^9 Cl^7}{Ca^{70} Mg^{19} Na^{11}}$
Puszcza Borecka Odpyw 100	$\frac{HCO_3^{88} SO_4^9 Cl^3}{Ca^{78} Mg^{18} Na^3}$
Koniczynka Struga Toruńska	$\frac{HCO_3^{58} SO_4^{26} Cl^{15}}{Ca^{73} Mg^{17} Na^{10}}$
Storkowo Parsęta	$\frac{HCO_3^{77} SO_4^{17} Cl^6}{Ca^{82} Mg^{12} Na^6}$
Święty Krzyż C6	$\frac{SO_4^{82} Cl^{18} HCO_3^0}{Ca^{60} Mg^{24} Na^{15}}$

W okresie wysokich stanów wód związanych z roztopami pokrywy śnieżnej (marzec) oraz intensywnymi opadami deszczu w trzeciej dekadzie lipca wody zasilające korytu cieku były wodami spływu powierzchniowego, które charakteryzują się krótkim czasem krążenia w zlewni (niskie stężenia wodorowęglanów) (Bochenek 2005).



Ryc. 2. Procentowy udział głównych jonów w składzie chemicznym wód powierzchniowych w roku hydrologicznym 2004

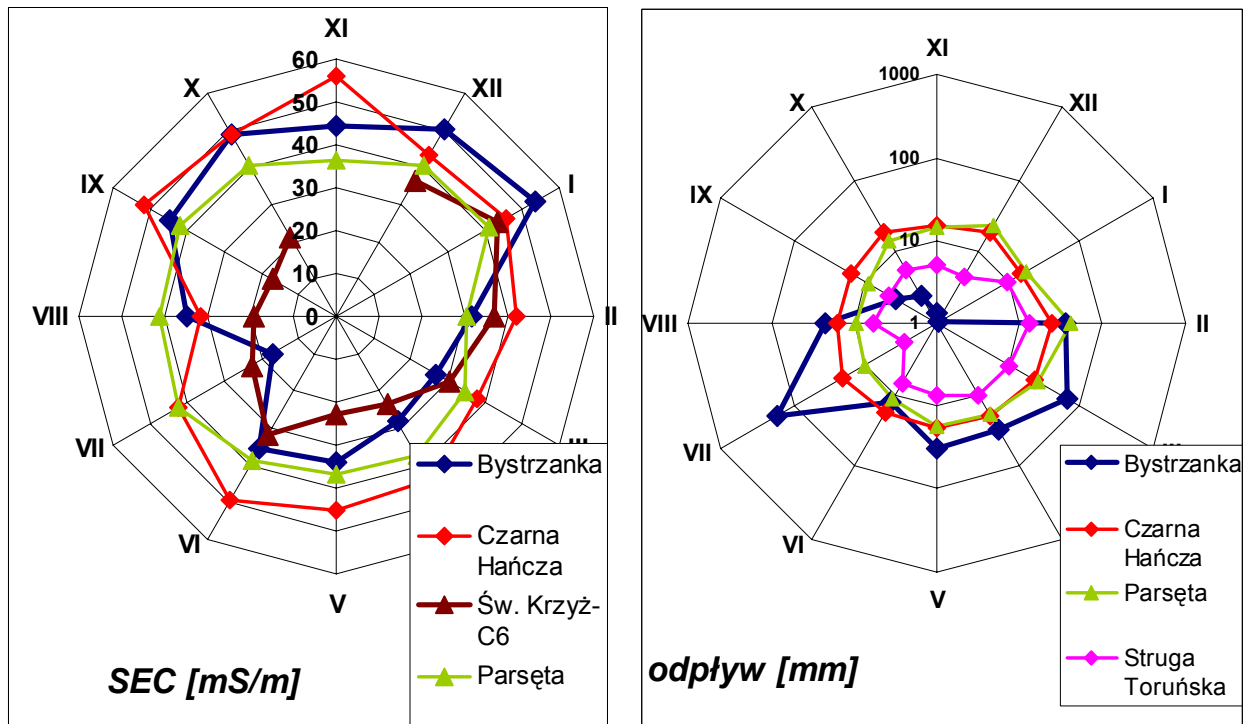
Udział w składzie chemicznym biogenów (azotanów, jonów amonowych, fosforanów, potasu) jest zdecydowanie mniejszy w porównaniu do elementów, których źródłem są procesy wietrzenia chemicznego i ługowania zachodzące w profilu glebowym i głębszym podłożu. Głównym źródłem biogenów w odpływie rzeczny jest dopływ zanieczyszczeń z obszarów zurbanizowanych i użytkowanych rolniczo. W przypadku potasu o obecność w wodach powierzchniowych decydują procesy wietrzenia chemicznego minerałów glebowych oraz obieg biologiczny. Głównym zagrożeniem dla ekosystemów rzecznych badanych w ramach ZMŚP są zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego. W grupie biogenów uzyskane wartości percentyla 90 dla miesięcznych stężeń azotanów pozwoliły zaklasyfikować badane cieki do I klasy jakości wód (Puszcza Borecka odpływ 100, Parsęta, Czarna Hańcza - Sobolewo, leśny potok na Świętym Krzyżu) oraz II klasy w przypadku: Bystrzanki oraz Strugi Toruńskiej (w punkcie wodowskazowym Koniczynka). Pod względem obecności jonów amonowych analizowane wody większości zostały zaliczone do I klasy jakości (percentyl 90 < 0,5 mg/L NH₄⁺) poza Strugą Toruńską gdzie uzyskana wartość stężenia jonów amonowych kwalifikuje wody do III klasy jakości. Zdecydowanie gorzej przedstawia się jakość wód rzecznych pod względem stężeń fosforanów. Do klasy I zostały zaliczone: Bystrzanka, Parsęta oraz leśny potok (C6) na Świętym Krzyżu. Pozostałe cieki reprezentują wody o III klasy jakości.

Zawartość magnezu, chlorków, oraz stężenie rozpuszczonego tlenu nie przekraczały wartości progowej dla I klasy jakości wód powierzchniowych. W przypadku stężeń jonów wapnia poza Świętym Krzyżem (I klasa) oraz Strugą Toruńską (III klasa) pozostałe rzeki zostały zaliczone do II klasy jakości.

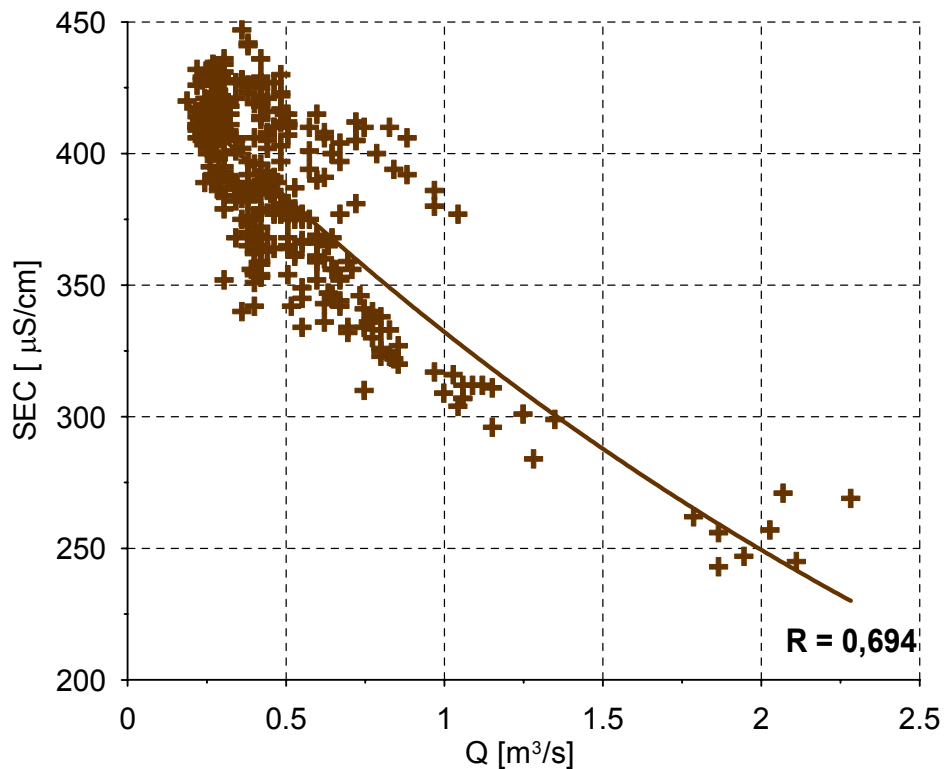
W przypadku wód powierzchniowych badanych w zlewni położonej na stoku Łysej Góry poważnym zagrożeniem są procesy zakwaszania związane zarówno z depozycją atmosferyczną substancji kwasogennych oraz ograniczonymi właściwościami buforowymi pokrywy glebowej. Efektem jest silne zakwaszenie wód potoku oraz bardzo wysokie stężenia glinu i manganu. Wartości pH oraz stężenia glinu mieszczą się w najgorszej V klasie jakości wody, natomiast w przypadku stężeń manganu IV klasie. Biochemiczne zapotrzebowanie tlenowe, które określa ilość tlenu wymaganą do utlenienia związków organicznych w badanych rzekach plasowało się w II (Bystrzanka) i III klasie jakości wody (Parsęta, Czarna Hańcza, Struga Toruńska, potok leśny).

Tabela 2. Klasyfikacja wybranych wskaźników jakości wód rzek monitorowanych w ramach ZMŚP w roku hydrologicznym 2004

rzeka	Ca	Mg	NH ₄	Zasad.	SO ₄	NO ₃	Cl	PO ₄	O ₂	Al
Bystrzanka									bd	bd
Parsęta										bd
Czarna Hańcza										bd
Struga Toruńska										bd
Leśny Potok Św. Krzyż										
Odływ 100 P. Borecka									bd	
	I klasa									
	II klasa									
	III klasa									
	IV klasa									
	V klasa									

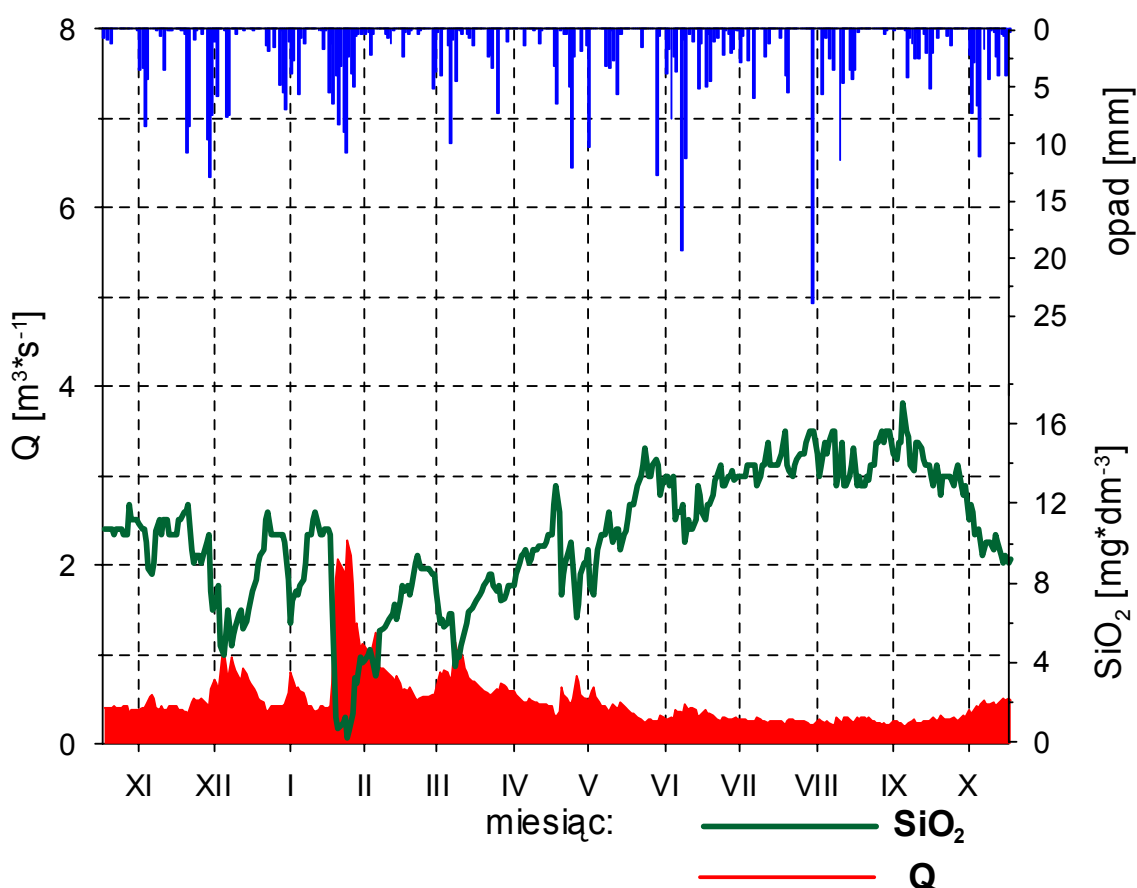


Ryc. 3. Rozkład czasowy przewodności elektrolitycznej i wskaźnika odpływu w roku hydrologicznym 2004



Ryc. 4. Zależność przewodności elektrolitycznej (SEC) od wielkości przepływu na podstawie wartości dobowych dla Parsęty, R – współczynnik determinacji

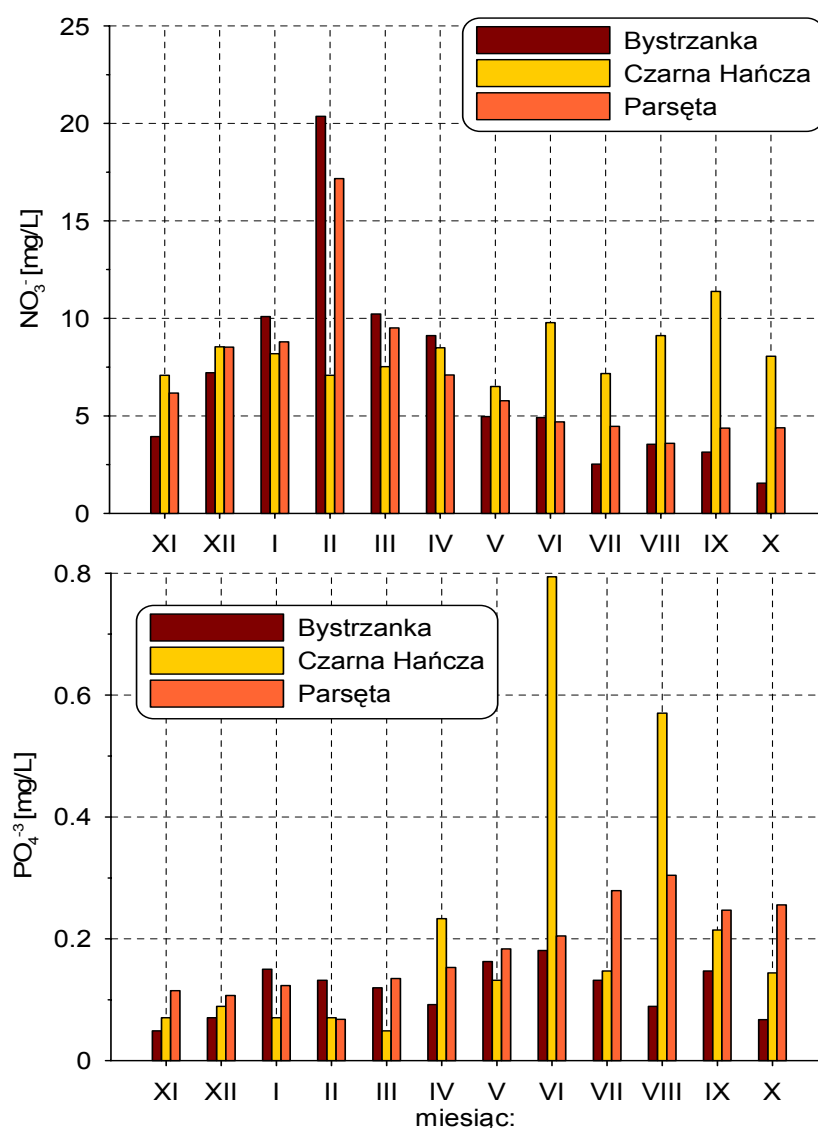
Sezonowość transportu fluwialnego jest wypadkową źródeł dostawy materiału oraz warunków hydrometeorologicznych. Przebieg przewodności właściwej (SEC), która jest wskaźnikiem mineralizacji wód rzecznych, zależy od rozkładu przepływu. Zależność ta ma charakter odwrotnie proporcjonalny (funkcja wykładnicza), najwyższe wartości SEC 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. Na podstawie badań prowadzonych w zlewni górnej Parsęty uzyskane korelacje statystyczne: stężenie jonu – przepływ mają w większości przypadków postać zależności odwrotnie proporcjonalnych (Kostrzewski, Mazurek, Zwoliński 1994, Mazurek 2000). Dotyczy to przede wszystkim jonów, których obecność w odpływie rzecznym nawiązuje do zasilania podziemnego. Do grupy tej należy zaliczyć: wapń, magnez, wodorowęglany oraz zjonizowaną krzemionkę. Najwyższe stężenia wymienionych jonów notowano w okresie niskich stanów, gdy przeważało zasilanie podziemne (Tylkowski 2005).



Ryc. 5. Zależność stężeń zjonizowanej krzemionki od wielkości przepływu. Parsęta, rok hydrologiczny 2004
opracowano na podstawie wartości dobowych

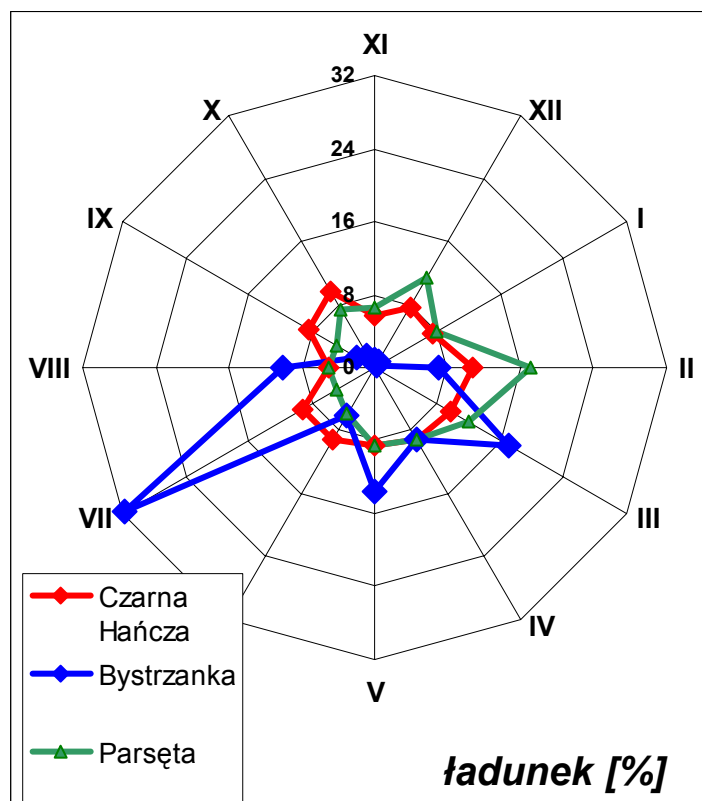
Rozkład biogenów w odpływie rzecznym zlewni Bystrzanki nawiązuje do częstotliwości występowania intensywnych opadów i roztopów. Wysokie stężenia azotanów,

potasu, jonów amonowych w korycie ciekę były charakterystyczne dla okresów wysokich stanów w korycie (Bochenek 2005). W czasie opadów o wysokim natężeniu lub w okresie roztopów dochodzi do przepełnienia kolektorów ściekowych i szybkiego odpływu substancji biogenych do koryta rzeki, ponadto związki te intensywnie wypłukiwane są z pokryw glebowej i poprzez spływ powierzchniowy dostarczana do ciekę (Bochenek 2005). Zróżnicowanie sezonowe rozkładu stężeń biogenów w odpływie rzeczny obok warunków hydrometeorologicznych zależy od sezonowości procesów biologicznych oraz dopływów antropogennych. Generalnie wysokie stężenia azotu zarówno formy amonowej i azotanowej są charakterystyczne dla okresu zimowego, kiedy występuje ograniczone pobieranie tych związków przez organizmy, schemat ten może być zakłócony przez dopływ azotu z ściekami komunalnymi lub zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego.



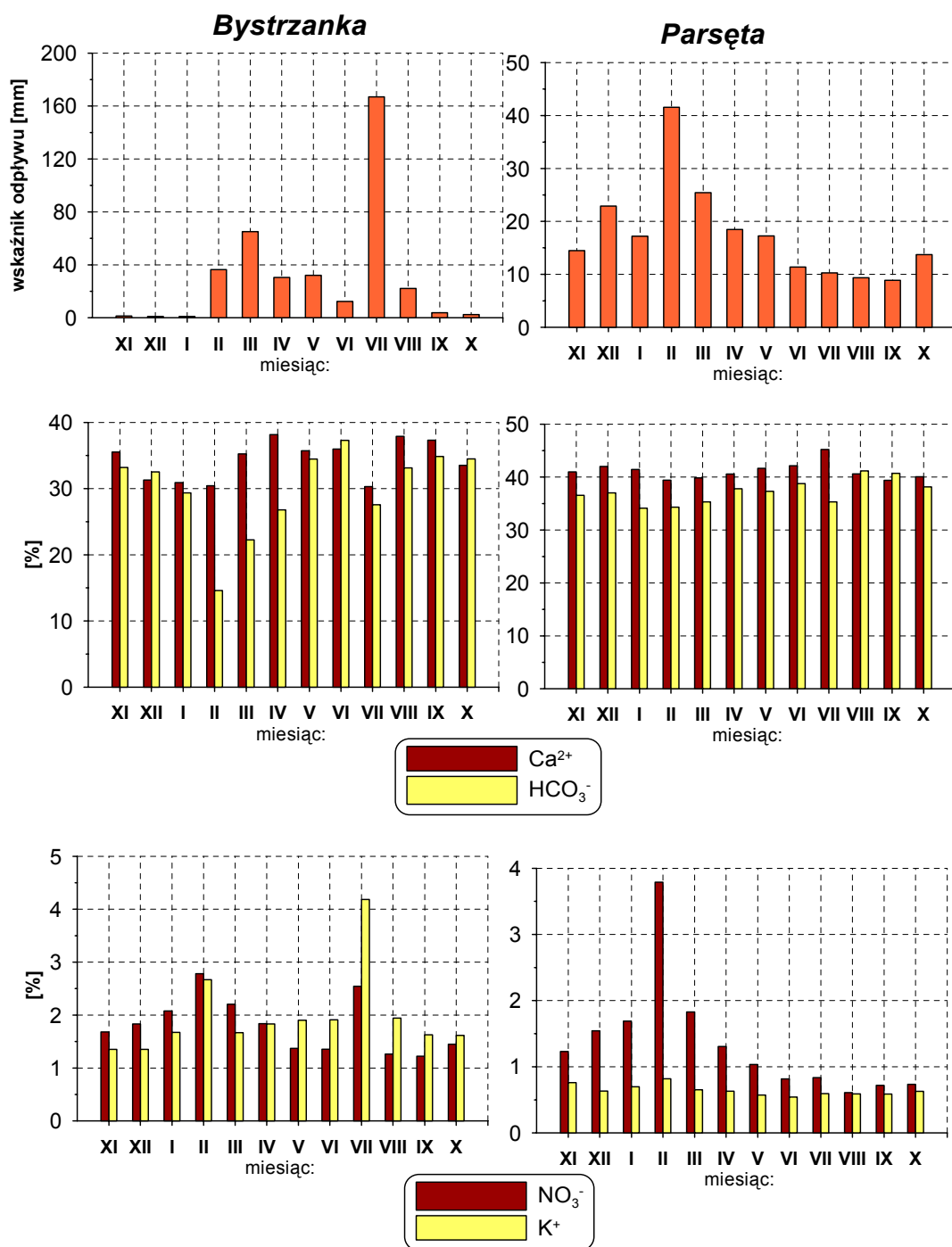
Ryc. 6. Zróżnicowanie sezonowe stężeń azotanów i fosforanów w odpływie rzeczny w roku hydrologicznym 2004

Znaczenie składowej antropogenicznej dla sezonowej zmienności rozkładu stężeń biogenów w odpływie rzeczny wyraźnie zaznacza się w przypadku Czarnej Hańcy (ryc. 6). Naturalny rozkład stężeń azotanów i fosforanów w odpływie rzeczny został zaburzony poprzez dopływ oczyszczonych ścieków z oczyszczalni z Suwałk (Krzysztofiak 2005). W efekcie maksymalne stężenia wymienionych biogenów przypadały na okres letni, kiedy to zazwyczaj notuje się minimalne zawartości biogenów w odpływie rzeczny.



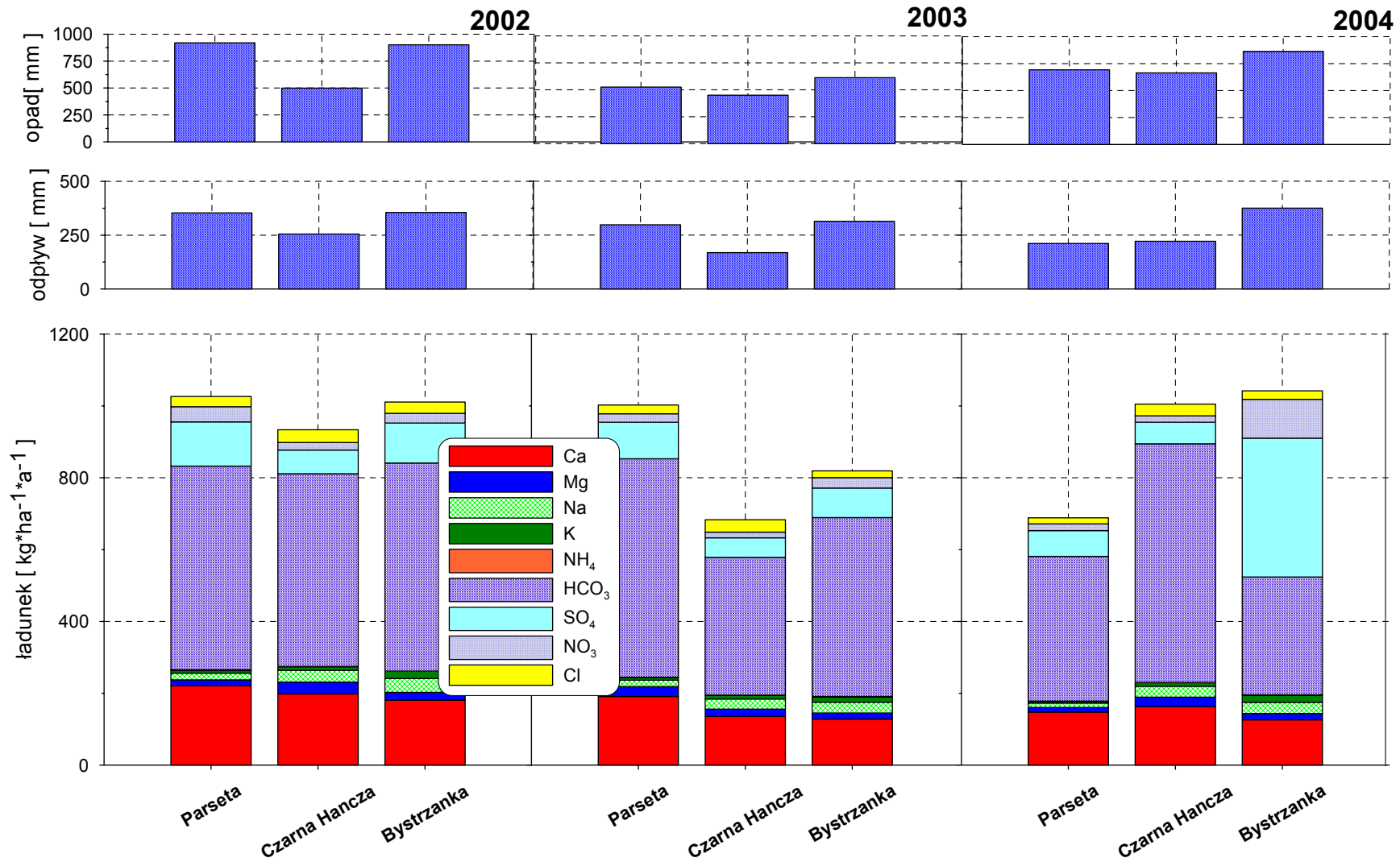
Ryc. 7. Zróżnicowanie czasowe miesięcznego ładunku substancji rozpuszczonych w stosunku do wartości rocznej

Analiza zróżnicowania czasowego ładunku substancji rozpuszczonych odprowadzanych przez system rzeczny z obszaru zlewni potwierdza, że o wielkości ładunku decydują warunki hydrometeorologiczne w danym roku. Zarówno w przypadku Parsęty i Czarnej Hańcy większość odprowadzanego ładunku substancji rozpuszczonych przypadało na półrocze zimowe, czyli w okresie wzmożonego dopływu wody ze zlewni. Z kolei najniższy spływ jonowy występował podczas niskich stanów wód w okresie letnim.



Ryc. 8. Zróżnicowanie czasowe udziału procentowego wybranych jonów w ładunku substancji rozpuszczonych odprowadzanych ze zlewni rzecznych na tle wysokości odpływu wody w roku hydrologicznym 2004

Warunki opadowe determinowały wielkość ładunku odprowadzanego ze zlewni Bystrzanki. W lipcu z obszaru zlewni odprowadzony został ładunek substancji rozpuszczonych o wielkości 211,6kg z hektara co stanowiło 31,6% ładunku rocznego odprowadzanych poprzez system fluwialny. Wystąpienie ekstremalnie wysokich sum opadów atmosferycznych w lipcu na obszarze zlewni Bystrzanki miało decydujący wpływ na obieg materii w badanym geosystemie w skali roku.



Ryc. 9. Struktura rocznego ładunku substancji rozpuszczonych odprowadzanego z wybranych zlewni rzecznych w latach: 2002, 2003 oraz 2004 na tle sum rocznych opadów atmosferycznych i odpływu

Istotnym elementem dla poznania bilansu materii geoekosystemu obok wielkości ładunku odprowadzanego z obszaru zlewni poprzez system rzeczny ma także jego struktura. Największym udziałem w materiale rozpuszczonym odprowadzanym z obszaru zlewni górnej Parsęty charakteryzują się jony wodorowęglanowe (37,5%) oraz jony wapniowe (41%), czyli te elementy składu chemicznego, których obecność w odpływie rzeczny jest funkcją intensywności procesów wietrzenia chemicznego i odprowadzania jego produktów poza geoekosystem. Udział w odpływie składników pozadenudacyjnych (m.in. jonów azotanowych, amonowych, fosforanowych, potasowych) jest zdecydowanie mniejszy. Największy udział biogenów w spływie jonowym występuje w okresie wysokich przepływów. Wówczas to do koryta cieków wprowadzane są intensywnie substancje biogenne, których pochodzenie jest związane z prowadzoną na obszarze zlewni działalnością rolniczą i zanieczyszczeniami bytowymi. Wielkość ładunku substancji biogennych odprowadzanych poprzez odpływ powierzchniowy jest szczególnie wysoka jeżeli okres maksymalnych przepływów jest czasowo skorelowany z minimum produkcji biologicznej (ryc. 8). W okresie niskich stanów wody w korycie, kiedy występuje głównie zasilanie podziemne, udział biogenów w strukturze ładunku jest najmniejszy.

Rok hydrologiczny 2004 pod względem rocznych sum opadów atmosferycznych został zaklasyfikowany do lat normalnych. Poprzedzający go rok 2003 w skali wielolecia (1994 – 2004) należał do najsuchszych. Efektem deficytu opadów atmosferycznych było wyczerpanie zasobów wodnych w badanych zlewniach rzecznych.

Porównanie zlewni rzecznych, które różnią się zarówno pod względem powierzchni, budowy geologicznej, rzeźby i struktury użytkowania ziemi, potwierdza, że obok warunków hydrometeorologicznych w badanym okresie, stopień bezwładności zlewni rzecznej decyduje w głównej mierze o wartości odprowadzanego ładunku substancji rozpuszczonych. Widoczna w przypadku zlewni górnej Parsęty zmniejszona wartość odpływu powierzchniowego w stosunku do suchego roku 2003, pomimo wzrostu rocznej sumy opadów o 32% w porównaniu do roku 2003, jest efektem rekonstrukcji zasobów wodnych i dużej bezwładności, jaka cechuje tę zlewnię. W konsekwencji ładunek odprowadzony z obszaru zlewni nie przekroczył wartości z roku 2003.

W przypadku zlewni górskiej, której przykładem jest zlewnia Bystrzanki, którą cechuje niewielka retencja, zjawiska ponadprzeciętne w postaci pojedynczego epizodu (np. intensywne opady atmosferyczne) generują odpływ substancji rozpuszczonych, których ładunek może stanowić kilkadziesiąt procent wartości rocznej.

PRZEPŁYW MATERII W UKŁADZIE 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 powietrza, 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 (hydroniowe, azotanowe, amonowe) lub wydala (kwasy organiczne) przeciwdziałając lub intensyfikując procesy zakwaszania wód opadowych.

W roku hydrologicznym 2004 monitoring chemizmu opadu podkoronowego i spływu po pniach prowadzono w sześciu Stacjach Bazowych: Wigry, Storkowo, Puszcza Borecka, Pożary, Szymbark, oraz Święty Krzyż. Badania prowadzono zarówno w zbiorowiskach lasów iglastych (sosna – Wigry, Storkowo, Pożary, świerk – Wigry, P. Borecka, Szymbark, jodła – Święty Krzyż) oraz lasów liściastych (dąb – P. Borecka, grab – P. Borecka, Szymbark, buk – Święty Krzyż). Prezentowane zestawienia składu chemicznego opadu pod koronami drzew na tle opadów na terenie otwartym jest obarczone błędem, związanym z jednej strony odmienną metodyką poboru opadu na terenie otwartym stosowaną przez poszczególne stacje oraz zróżnicowanym czasem ekspozycji chwytaczy opadu na terenie otwartym i 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 (związki siarki, 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 hydroniowych i wprowadzaniem do opadu głównie jonów potasu i wapnia. Uzyskane wyniki badań prowadzonych w ramach *ICP Forest* poziom II potwierdzają procesy neutralizacji kwaśnych wód opadowych w strefie koron drzew w zbiorowiskach lasów liściastych. W przypadku gatunków iglastych obserwowano zarówno procesy neutralizacji kwaśnych wód

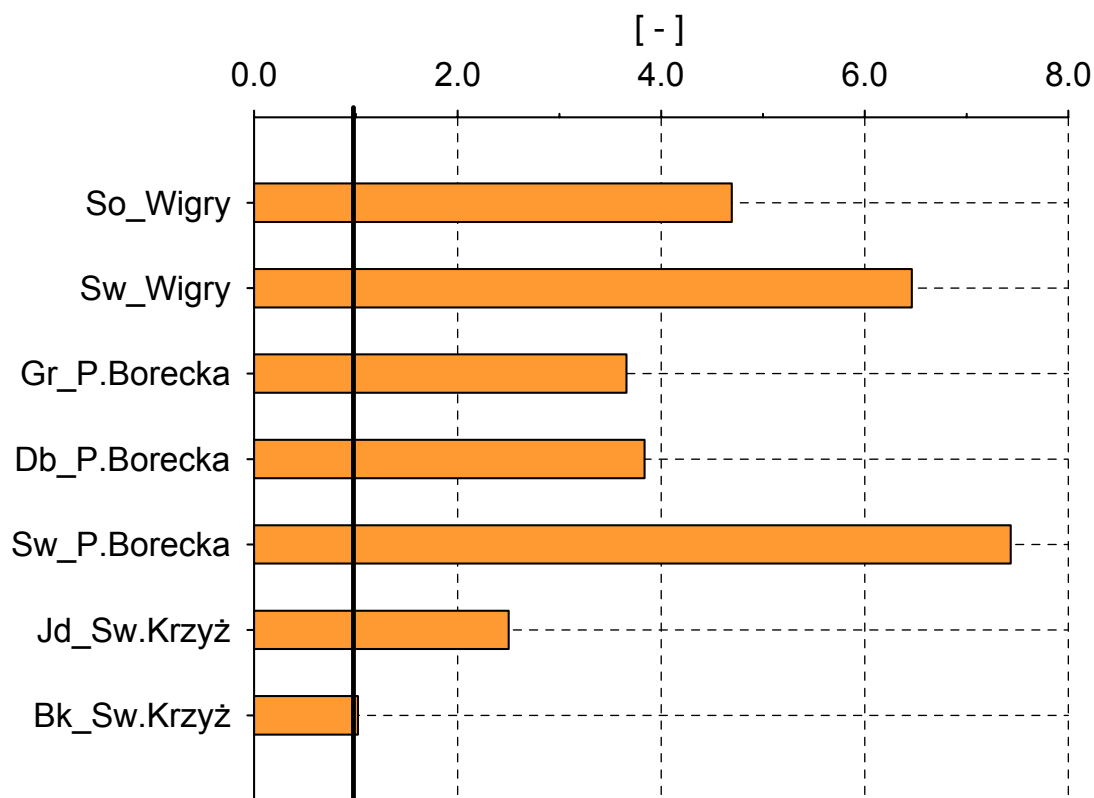
opadowych oraz procesy zakwaszania, związana z splukiwaniem suchej depozycji związków kwasogennych.

Średnie ważone roczne pH opadu podkoronowego w przypadku gatunków iglastych w roku hydrologicznym 2004 było niższe w relacji do opadu na terenie otwartym. Należy jednak zaznaczyć, że w skali całego roku odnotowano przypadki, kiedy pH opadu pod koronami przekraczało wartości obserwowane na terenie otwartym. Przypadki takie obserwowano zwłaszcza w półroczu letnim roku hydrologicznego.

Odmienne przedstawia się rozkład pH opadu podkoronowego w przypadku drzewostanów liściastych. Wartości średnie roczne przekraczały wyniki pH zmierzone w opadzie na terenie otwartym. Wyjątek stanowi drzewostan bukowy na Świętym Krzyżu, gdzie średnie roczne pH opadu podkoronowego było niższe o ponad jednostkę w stosunku do terenu otwartego. Fakt ten wynika ze splukiwania kwasogennych substancji z powierzchni roślin, szczególnie w chłodnym okresie roku. Znacznie bardziej niż opad podkoronowy były zakwaszone wody spływające po pniach drzew, szczególnie w przypadku jodeł, gdzie średnie ważone roczne pH wyniosło 3,18 (2,82-5,46). Dla buka wartość pH kształtowała się na poziomie 4,20 (Jóźwiak 2005).

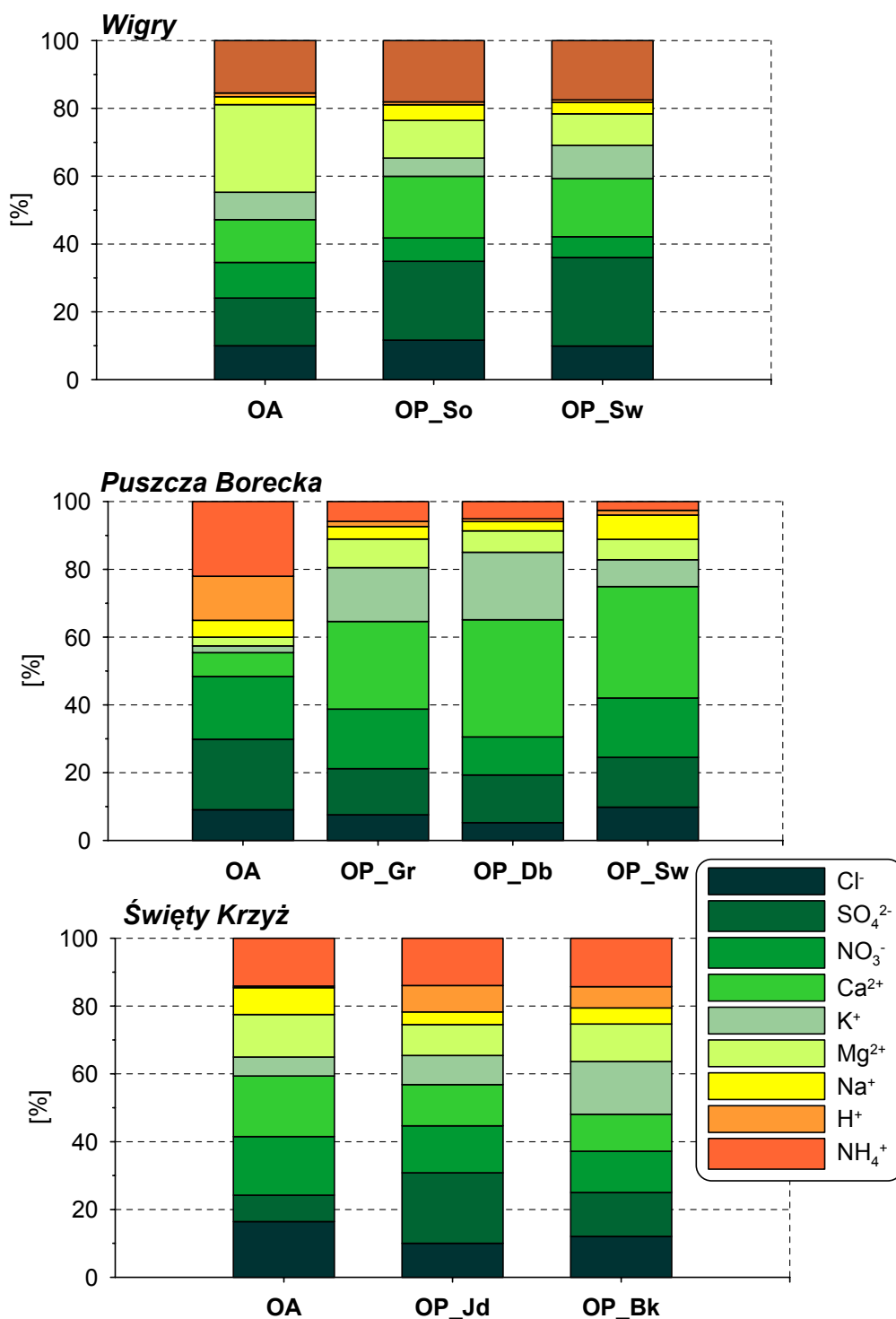
Tab. 1 Wartości minimalne, średnie i maksymalne roczne pH opadu podkoronowego w roku hydrologicznym 2004

pH	sosna Wigry	świerk Wigry	grab P.Borecka	dąb P.Borecka	świerk P.Borecka	jodła Św.Krzyż	buk Św.Krzyż
minimum	4.27	4.24	6.80	6.77	4.15	3.22	3.70
średnia	5	4.88	4.99	5.23	4.70	3.82	4.29
maksimum	6.45	6.85	4.53	4.67	6.92	5.34	5.77



Ryc. 1. Rozkład przewodności elektrolitycznej w opadzie podkoronowym w wybranych drzewostanach w stosunku do opadu na terenie otwartym
wartość 1 oznacza średnie ważone SEC opadu na terenie otwartym
So –sosna, Sw –świerk, Gr – grab, Db – dąb, Bk-buk, Jd -jodła

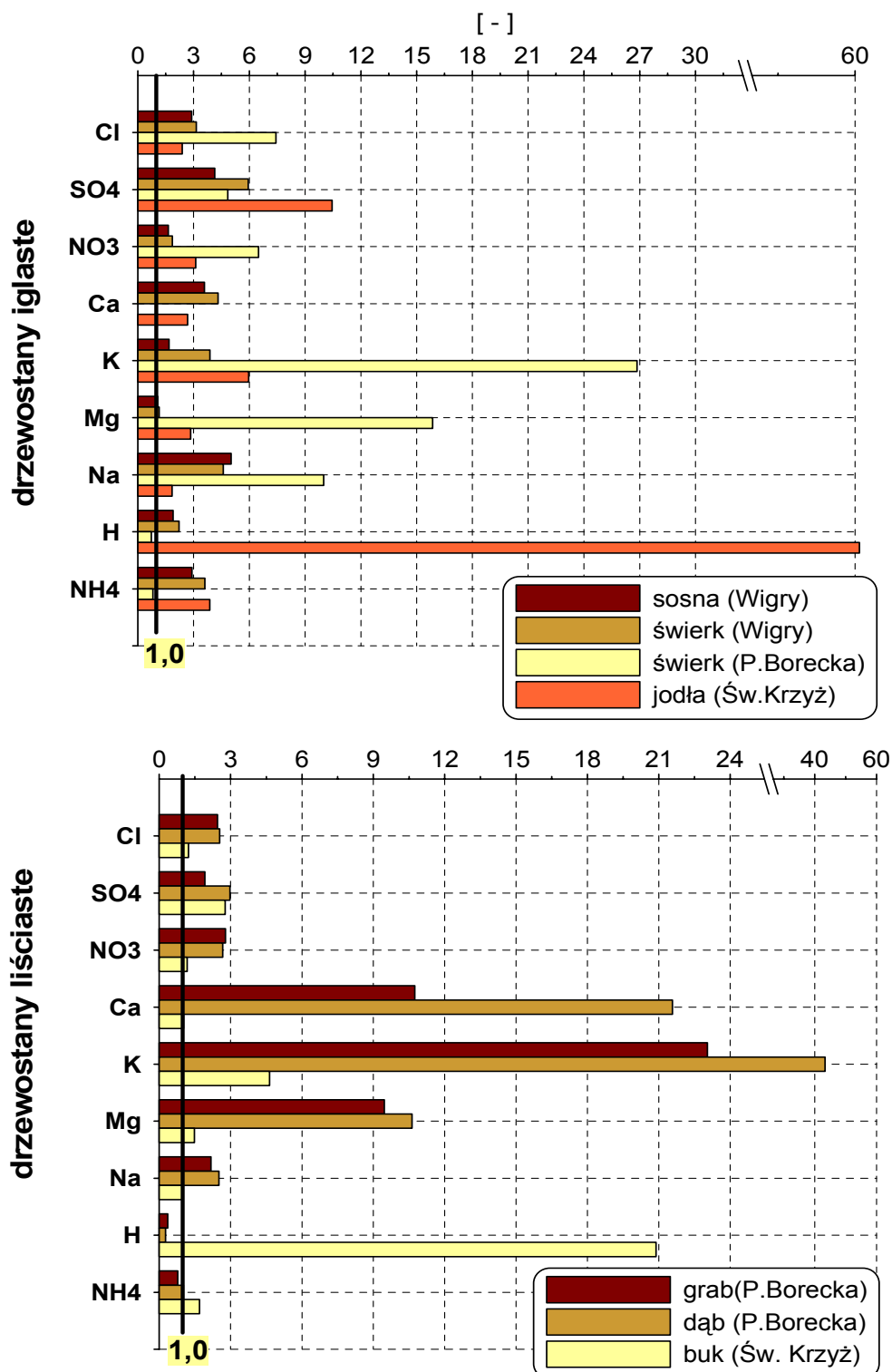
Wskaźnikiem zawartości rozpuszczonych substancji w wodzie jest przewodnictwo elektryczne. Zestawienie wartości konduktancji opadu pod koronami do wartości notowanych w opadzie na terenie otwartym potwierdza wzbogacenie wód opadowych zachodzące w strefie koron drzew. Procesy te są szczególnie intensywne w zbiorowiskach lasów iglastych (ryc. 1). Drzewostany iglaste charakteryzują się większymi zdolnościami wychwytywania zanieczyszczeń z powietrza (większa powierzchnia adsorpcji, obecność ulistnienia w ciągu całego roku).



Ryc. 2. Skład chemiczny opadu podkoronowego w roku hydrologicznym 2004
So –sosna, Sw –świerk, Gr – grab, Db – dąb, Bk-buk, Jd –jodła

Efektywne procesy wychwytywania zanieczyszczeń powietrza przez gatunki iglaste potwierdza także oszacowany wskaźnik depozycji suchej – *dry deposition factor* (Ulrich 1983). Wskaźnik ten jest stosunkiem różnicy ładunku sodu w opadzie podkoronowym i opadzie na terenie otwartym do ładunku tego pierwiastka w opadzie na terenie otwartym (Ulrich (1983). Jony sodowe uważana są z element konserwatywny *tracer*, który nie uczestniczą w żadnych reakcjach zachodzących w strefie koron drzew pomiędzy opadem a

listowiem (Ulrich1983, Draajers i in. 1998). Uzyskane wartości dla badanych w ramach ZMŚP zbiorowisk leśnych potwierdzają zdecydowaną większą depozycję sodu pod koronami gatunków iglastych w porównaniu do gatunków liściastych.

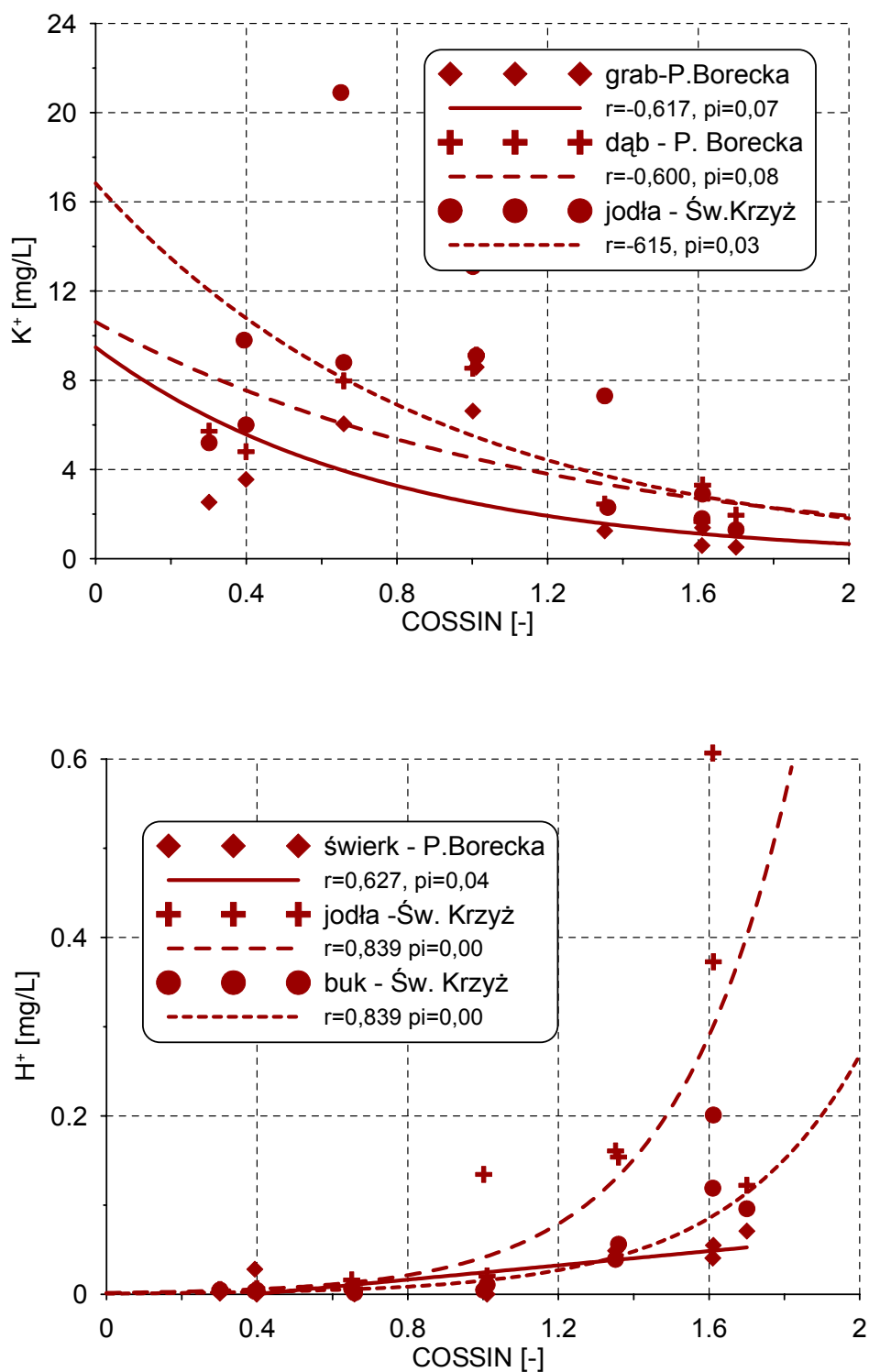


Ryc. 3 Wskaźniki depozycji dla wybranych zbiorowisk leśnych w roku hydrologicznym 2004

Zestawienie składu chemicznego opadu podkoronowego i opadu na terenie otwartym wskazuje istotne różnice w udziale poszczególnych jonów w składzie chemicznym wód opadowych pod koronami drzew (ryc. 3). Generalnie niezależnie od typu drzewostanu wzrasta udział w jonów wapnia, potasu w opadzie pod koronami drzew. Wzrost stężeń tych jonów jest efektem procesów wymiany jonowej, w których z jednej strony uczestniczą jony amonowe i wodorowe, z drugiej natomiast potas, wapń i mangan. Jony potasu towarzyszą również wymywaniu z komórek roślinnych kwasom organicznym. W przypadku gatunków iglastych w składzie chemicznym opadu podkoronowego w stosunku do opadu na terenie otwartym wzrasta udział siarczanów, sodu, czyli tych jonów, których obecność w opadzie pod koronami drzew jest rezultatem przede wszystkim procesów splukiwania suchej depozycji.

Do jonów, których udział w opadzie podkoronowym obniża się w porównaniu do opadu na terenie otwartym należy zaliczyć jony hydroniowe (drzewostany liściaste), jony amonowe oraz azotanowe. Modyfikację właściwości chemicznych wód opadowych w ekosystemach leśnych potwierdzają wartości współczynników depozycji, które są stosunkiem depozycji danego jonu w opadzie podkoronowym do ładunku tego jonu w opadzie na terenie otwartym. Wartości większe od jedności wskazują na procesy wzbogacania wód opadowych zachodzące w strefie koron w dany jon. Ogólnie wzrasta udział depozycji kationów zasadowych (wapń, potas, magnez). Ładunek tych jonów zdecydowanie przewyższa depozycje poza lasem. Wartości współczynników depozycji wymienionych jonów są szczególnie wysokie w zbiorowiskach lasów liściastych. Intensywne procesy ługowania tych jonów z komórek roślinnych niewątpliwie nawiązują do zasobności gleby w wymienione składniki (pobieranie luksusowe). W przypadku drzewostanów iglastych ługowanie kationów alkalicznych z komórek roślinnych jest mniej intensywne są to przede wszystkim siedliska oligotroficzne. Wzrasta natomiast w porównaniu do opadu na terenie otwartym depozycja siarczanów, sodu, jonów amonowych, czyli tej grupy jonów, których obecność obok depozycji mokrej pod koronami drzew jest związana z procesami splukiwania suchej depozycji z powierzchni roślin. Niewątpliwie pomimo strat wody związanych z procesami intercepcji ładunek jonów pod koronami drzew w większości przypadków przekracza depozycję na terenie otwartym. Dla jonów wodorowych, potasowych oraz wapniowych uzyskane ładunki kilkadziesiąt razy przekraczają wartość depozycji na terenie otwartym.

Źródło pochodzenia jonów w opadzie podkoronowym determinuje rozkład stężeń w skali roku. Analiza korelacji stężeń miesięcznych poszczególnych jonów w opadzie podkoronowym z rozkładem wskaźnika *COSSIN*, który odzwierciedla rozkład produkcji biomasy w klimacie umiarkowanym przyjmując wartość minimum (0,293) w okresie największej produkcji w ekosystemie (sierpień), natomiast maksimum (1,707) w porze braku aktywności biologicznej (Mitchell 1990), pozwala wyróżnić 3 grupy jonów.



Ryc. 4. Zależności pomiędzy rozkładem wskaźnika COSSIN i stężeniem potasu i jonu hydroniowego w opadzie podkoronowym dla wybranych gatunków drzew
r - współczynniki korelacji rang Spearmana, *pi* – poziom istotności

Tabela 2. Macierz korelacji rang Spearmana (*r*) dla stężeń jonów w opadzie na terenie otwartym i pod koronami drzew

Przewodność elektrolityczna	r	poziom istotności	Jony hydroniowe	r	poziom istotności
grab-P.BORECKA	-0.727	0.011	grab-P.BORECKA	0.555	0.077
świerk-P.BORECKA	-0.127	0.726	świerk-P.BORECKA	0.791	0.004
dąb-P.BORECKA	-0.536	0.089	dąb-P.BORECKA	0.791	0.004
sosna-WIGRY	0.195	0.544	sosna-WIGRY	0.329	0.297
świerk-WIGRY	0.230	0.495	świerk-WIGRY	0.473	0.142
jodła-ŚW.KRZYŻ	0.622	0.031	jodła-ŚW. KRZYŻ	0.538	0.071
buk- ŚW.KRZYŻ	0.580	0.048	buk- ŚW. KRZYŻ	0.573	0.051
siarczany	r	poziom istotności	Jony amonowe	r	poziom istotności
grab-P.BORECKA	-0.236	0.484	grab-P.BORECKA	0.473	0.142
świerk-P.BORECKA	-0.300	0.370	świerk-P.BORECKA	0.218	0.519
dąb-P.BORECKA	-0.345	0.298	dąb-P.BORECKA	0.073	0.832
sosna-WIGRY	-0.356	0.256	sosna-WIGRY	0.560	0.058
świerk-WIGRY	0.005	0.989	świerk-WIGRY	0.014	0.968
jodła-ŚW.KRZYŻ	0.434	0.158	jodła-ŚW.KRZYŻ	0.622	0.031
buk- ŚW.KRZYŻ	0.161	0.616	buk- ŚW.KRZYŻ	0.497	0.101
azotany	r	poziom istotności	sód	r	poziom istotności
grab-P.BORECKA	-0.118	0.729	grab-P.BORECKA	0.200	0.606
świerk-P.BORECKA	0.727	0.011	świerk-P.BORECKA	0.179	0.702
dąb-P.BORECKA	0.136	0.689	dąb-P.BORECKA	0.217	0.576
sosna-WIGRY	0.326	0.301	sosna-WIGRY	0.588	0.057
świerk-WIGRY	-0.493	0.123	świerk-WIGRY	0.284	0.427
jodła-ŚW.KRZYŻ	0.839	0.001	jodła-ŚW.KRZYŻ	0.874	0.000
buk- ŚW.KRZYŻ	0.811	0.001	buk- ŚW.KRZYŻ	0.700	0.011
chlorki	r	poziom istotności	potas	r	poziom istotności
grab-P.BORECKA	0.418	0.201	grab-P.BORECKA	0.167	0.668
świerk-P.BORECKA	0.345	0.298	świerk-P.BORECKA	0.107	0.819
dąb-P.BORECKA	0.442	0.174	dąb-P.BORECKA	0.167	0.668
sosna-WIGRY	0.056	0.863	sosna-WIGRY	0.329	0.296
świerk-WIGRY	-0.191	0.574	świerk-WIGRY	0.009	0.979
jodła-ŚW.KRZYŻ	0.545	0.067	jodła-ŚW.KRZYŻ	0.574	0.051
buk- ŚW.KRZYŻ	0.420	0.175	buk- ŚW.KRZYŻ	0.568	0.054
wapń	r	poziom istotności	magnez	r	poziom istotności
grab-P.BORECKA	0.483	0.187	grab-P.BORECKA	0.217	0.576
świerk-P.BORECKA	0.964	0.000	świerk-P.BORECKA	0.000	1.000
dąb-P.BORECKA	0.783	0.013	dąb-P.BORECKA	0.250	0.516
sosna-WIGRY	0.127	0.709	sosna-WIGRY	-0.126	0.712
świerk-WIGRY	-0.309	0.385	świerk-WIGRY	0.122	0.738
jodła-ŚW.KRZYŻ	0.182	0.571	jodła-ŚW.KRZYŻ	0.247	0.439
buk- ŚW.KRZYŻ	-0.007	0.983	buk- ŚW.KRZYŻ	0.199	0.536

0,999 – współczynnik korelacji istotny na poziomie istotności $\leq 0,05$, **0,666** –wsp. korelacji istotny na poziomie istotności $\leq 0,1$ i $> 0,05$

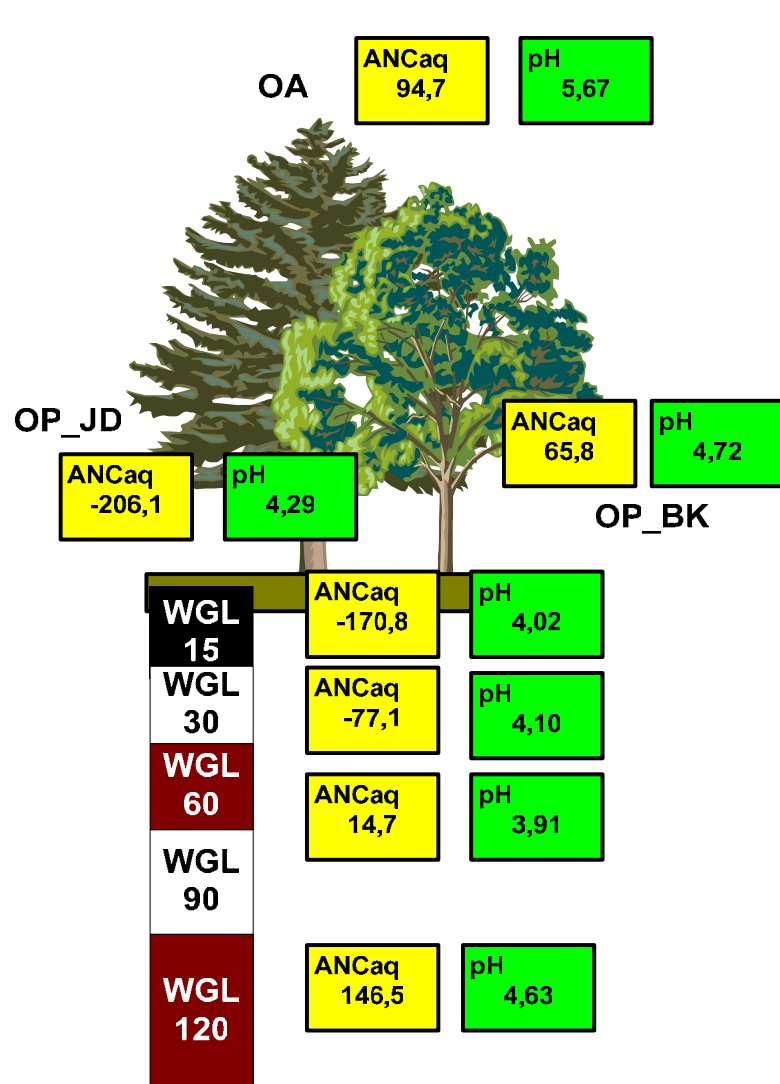
Grupa jonów (jony: hydroniowe, sodowe, siarczanowe) dla których uzyskane współczynniki korelacji wskazują na zależność wprost proporcjonalną (ryc. 4). Obecność tych jonów w opadzie podkoronowym głównie związana jest z procesami wychwytywania przez roślinność aerozoli obecnych w atmosferze i ich splukiwaniem z powierzchni roślin w okresie trwania opadu. Zależności odwrotnie proporcjonalne otrzymano dla jonów wapnia i potasu. Wysokie stężenia wymienionej grupy jonów w pełni okresu wegetacyjnego nawiązują do ich koncentracji w komórkach roślinnych.

Trzecia grupa jonów obejmuje te elementy składu chemicznego opadu podkoronowego, których rozkład stężeń w skali roku nie wykazuje wyraźnego trendu sezonowego. Do grupy tej należy zaliczyć obie formy azotu, chlorki oraz magnez.

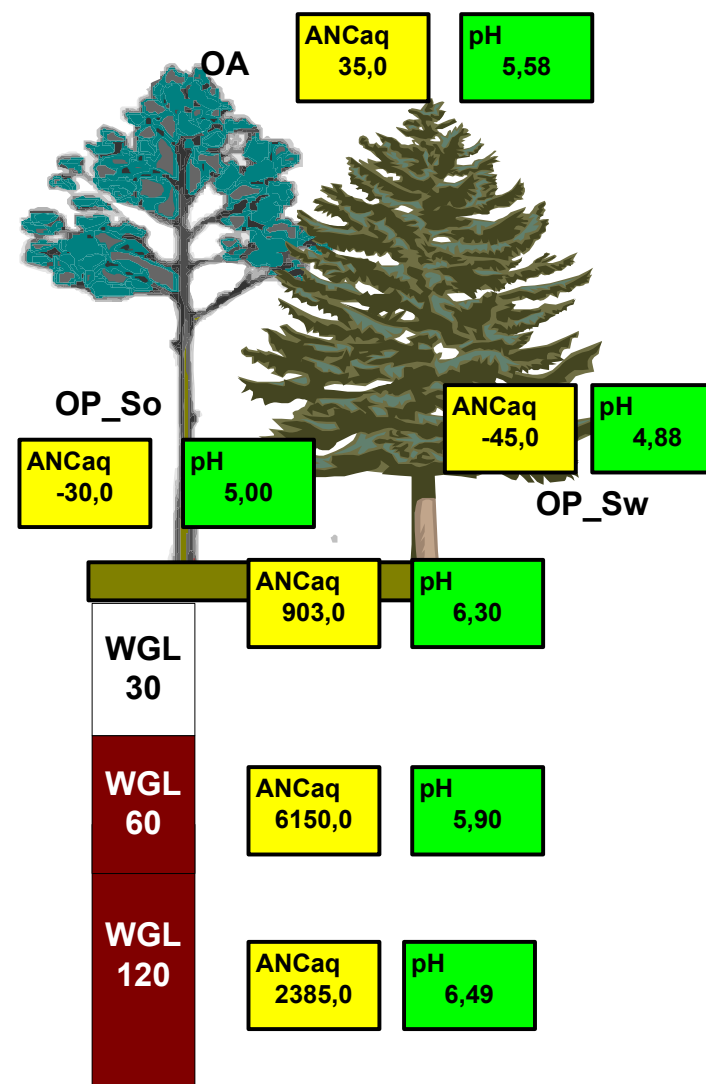
Przeprowadzono również analizę korelacji pomiędzy rozkładem stężeń miesięcznych poszczególnych jonów w opadzie na terenie otwartym i odpowiadającym im stężeniom w opadzie podkoronowym (tab. 2). W większości przypadków nie uzyskano istotnych zależności między analizowanymi rozkładami czasowymi stężeń. Potwierdza to istotne zmiany jakościowe składu chemicznego wód opadowych zachodzące w zbiorowiskach leśnych. W grupie analizowanych jonów tylko w przypadku jonów sodu, hydroniowych oraz azotanowych otrzymano statystycznie istotną korelację pomiędzy rozkładem w opadzie na terenie otwartym i pod koronami drzew.

W celu poznania natury procesów biogeochemicznych zachodzących w glebie niezbędny jest obok okresowej parametryzacji pokrywy glebowej, stały monitoring roztworów glebowych, które są czułym wskaźnikiem zmian zachodzących w środowisku glebowym. W ramach ZMŚP badania roztworów krążących w profilu glebowym prowadzone były na trzech stacjach: Storkowie (gleba bielcowo-rdza) oraz na Świętym Krzyżu (gleba rdzawo brunatna opadowoglejowa) oraz Wigrach (gleba płowa zbielcowana). Do badań wykorzystywano próbniki podciśnieniowe, które umieszczone były na głębokościach nawiązujących do budowy profilu glebowego.

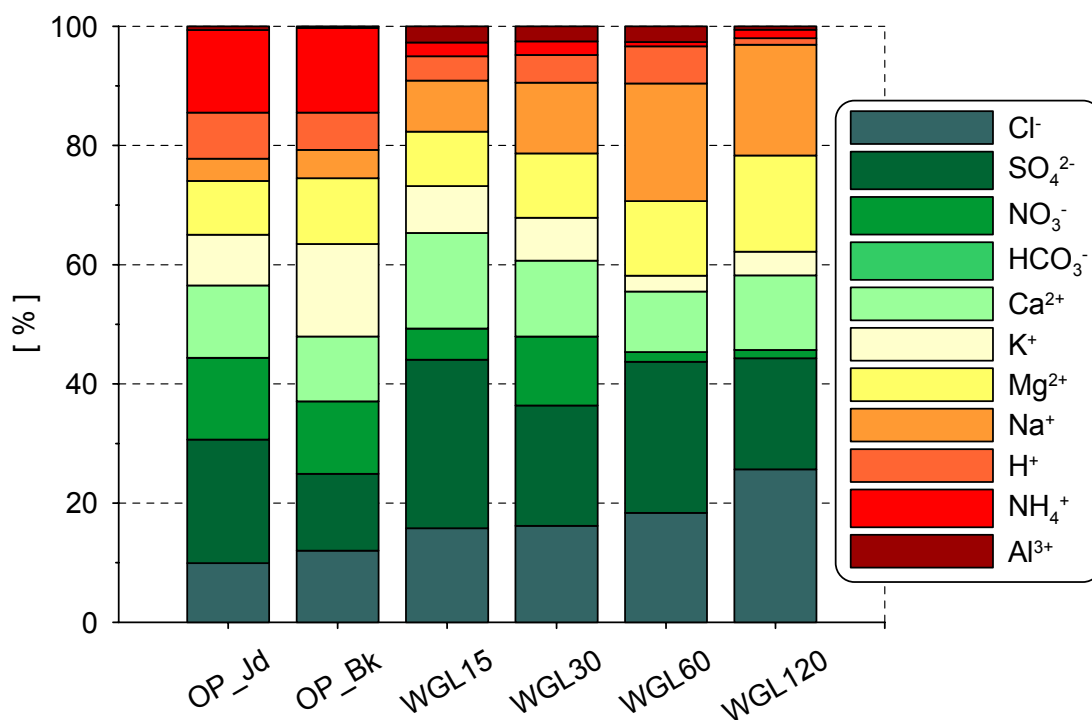
Rozkład pH w profilu gleby rdzawo brunatnej opadowoglejowej na Świętym Krzyżu wskazuje, że jest ona buforowana w zakresie glinowym i wymiany jonowej. Najniższym pH charakteryzowały się roztwory glebowe na głębokości 60cm (średnie ważone roczne pH wyniosło 3,91) i 15cm z pH 4,02. Najwyższą wartość pH zanotowano na głębokości 90cm – 5,42. Wartości przewodnictwa elektrycznego mieściły się w granicach od 7,01 do 10,98mS/m, z minimum 3,46mS/m i maksimum 51,5mS/m zanotowanym na głębokości 15cm. W przypadku gleby płowej zbielcowanej zakres pH roztworów glebowych wskazuje, że jest ona buforowana w zakresie krzemianowo-węglanowym. Najniższym pH charakteryzowały się roztwory glebowe na głębokości 50cm, średnie roczne pH wyniosło 5,90. Najwyższe wartości pH odnotowano na głębokości 100cm – 6,49, niewiele niższe wartości uzyskano w roztworach pobieranych z głębokości 30cm – 6,30.



Ryc. 5. Rozkład ANCaq i pH w układzie: opad na terenie otwartym (OA), opad podkoronowy (OP) – roztwory glebowe (WGL) na gł. 15, 30, 60, 120cm. Stacja Bazowa Św. Krzyż
JD - jodła, BK - buk



Ryc. 6. Rozkład ANCaq i pH w układzie: opad na terenie otwartym (OA), opad podkoronowy (OP) – roztwory glebowe (WGL) na gł. 30, 60, 120cm. Stacja Bazowa Wigry
So - sosna, Sw - świerk



Ryc. 7. Skład chemiczny roztworów glebowych na tle opadu podkoronowego. Stacja Bazowa Święty Krzyż
 OP_Jd – opad podkoronowy (jodła), OP_Bk (buk), WGL roztwory glebowe na głębokości: 15, 30, 60, 120cm

Uzyskane rozkład wskaźnika pojemności zobojętniania kwasów ANCaq w profilu glebowym na Świętym Krzyżu potwierdza znaczący wpływ kwaśnych roztworów docierających do gleby zwłaszcza pod koronami jodły (ryc. 5). Ujemne wartości ANCaq świadczą o obecności w roztworach glebowych kwaśnych kationów: glinu, żelaza, manganu oraz przede wszystkim jonów hydroniowych. Wzrost wskaźnika ANCaq w głąb profilu glebowego jest rezultatem uzupełniania stężeń Ca, Mg oraz Na z wietrzejących chemicznie mineralnych cząstek glebowych (Kowalkowski 2002). Efektem tych procesów jest malejący stopień kwasowości Ulricha (Ma%), będący stosunkiem sumy stężeń kationów kwaśnych (Al, Mn, Fe) i H_3O^+ do sumy stężeń wszystkich kationów w roztworze glebowym oraz wysoki stosunek molarny wapnia do glinu, świadczący o niewielkim stresie Al dla roślin.

Wysokie wartości pojemności zobojętniania kwasów w profilu gleby płowej zbielcowanej należy wiązać z obecnością w kompleksie sorpcyjnym kationów zasadowych. Wysoka buforowość analizowanej gleby w zakresie kwaśnym neutralizuje wpływ zwiększonego depozytu substancji kwaśnych pod koronami drzew.

Uzyskane wyniki badań przepływu jonów w profilu: atmosfera – roślinność – gleba potwierdzają istotną rolę, jaką odgrywa roślinność w procesie transformacji właściwości chemicznych opadów atmosferycznych. Zwiększona depozycja jonów pod koronami drzew jest przede wszystkim efektem adsorpcji zanieczyszczeń atmosferycznych przez rośliny. Efektem jest obserwowany proces zakwaszania gleby i ługowania kationów alkalicznych,

których miejsce w kompleksie sorpcyjnym gleby zajmują kationy glinu, żelaza, oraz uwodnione jony wodorowe. Procesy te są szczególnie intensywne w przypadku gleb o niewielkich właściwościach buforowych w zakresie kwaśnym.

BIOINDYKACJA

Bioindykacja jest jedną z podstawowych metod oceny stanu środowiska przyrodniczego na podstawie reakcji wybranych elementów biologicznych geoeosystemów, czułych na zmiany bilansu energii, biogenów i substancji toksycznych. W ramach grupy programów biotycznych realizowany jest: monitoring epifitów nadrzewnych, uszkodzenia drzew i drzewostanów, flory i roślinności zlewni reprezentatywnej oraz fauny bezkręgowej. Celem tych programów jest monitoring organizmów żywych a poprzez to pośrednia kontrola i ocenę zmian zachodzących w obrębie podstawowych komponentów abiotycznych geoeosystemów.

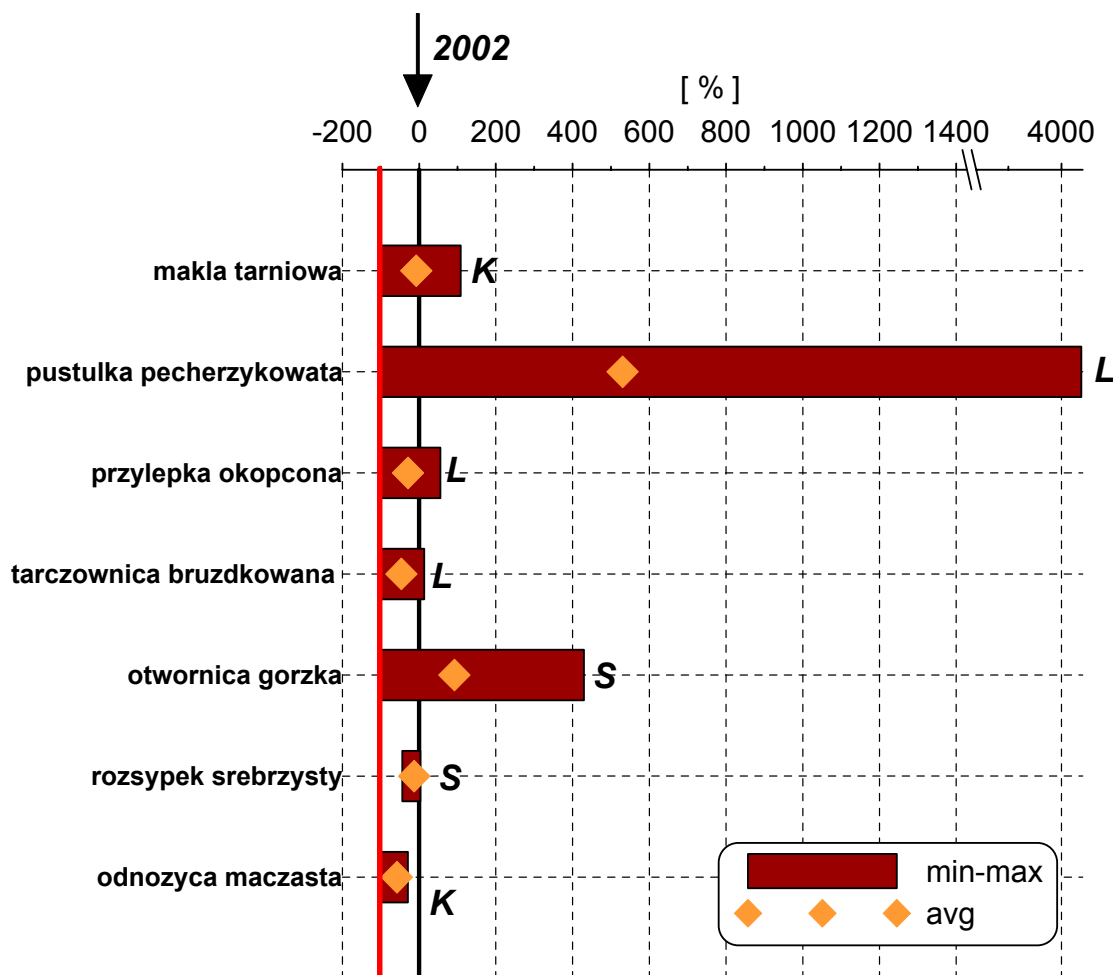
EPIFITY NADRZEWNE

Porosty należą do powszechnie stosowanych wskaźników zmian: zanieczyszczenia powietrza, warunków siedliskowych oraz struktury użytkowania terenu. W ramach ZMŚP prowadzony jest monitoring epifitów nadrzewnych z częstotliwością raz na rok do trzech lat. W roku hydrologicznym 2004 wykonano ponowny obrys plech porostów na stacjach: Wigry, Puszcza Borecka, Koniczynka oraz Święty Krzyż i Szymbark. Na Stacji Bazowej Storkowo pomiary powierzchni plech przeprowadzono w roku 2003.

Największy zakres obserwacji flory porostów wykonywany jest w zlewni Czarnej Hańczy. Badania prowadzone są od 1998 na 15 stanowiskach i obejmuje 12 gatunków, w tym 5 taksonów o plechach krzaczkowatych, 5 listkowatych oraz 2 o plechach skorupiastych. Uzyskane wyniki prowadzonych obserwacji w latach 1998 – 2004 wskazują ogólnie na redukcję plech porostów. W przypadku takich gatunków jak: *Platismatia glauca* (płucnik modry), *Usnea hirta* (brodacza kępowa), *Ramalina farinacea* (odnożyca mączysta), *Parmelia sulcata* (traczownica bruzdkowana) odnotowano całkowity zanik wymienionych gatunków na wybranych stanowiskach pomiarowych. Wymienione porosty, poza tarczownicą bruzdkowaną, która reprezentuje typ listkowatych plech, pozostałe gatunki należą do form krzaczkowatych, które są najbardziej czułe na poziom zanieczyszczenia powietrza. Największy przyrost powierzchni plechy odnotowano na stanowisku 042 położonym na pniu lipy drobnolistnej w przypadku rozsyпка srebrzystego (*Phlyctis argena*). W stosunku do roku 2001 plecha tego porostu skorupiastego powiększyła się 60-krotnie (Krzysztofiak 2005). W przypadku pozostałych porostów na tym stanowisku, poza pustułą pęcherzykowatą, powierzchnia plech w analizowanym okresie uległa redukcji, z całkowitym zanikiem przylepki okopconej (*Melanelia fuliginosa*) i otwornicy gorzkiej (*Pertusaria amara*). Do gatunków porostów, które charakteryzują się największą dynamiką wzrostu powierzchni plechy należy

zaliczyć poza wymienionym już rozsypkiem srebrzystym także: pustułkę pęcherzykową (*Hypogymnia physodes* –forma listkowata plechy) oraz przylepkę okopconą (*Melanelia fuliginosa* –forma listkowata plechy).

W zlewni jeziora Łękuk monitoring porostów prowadzono na 10 stanowiskach i obserwacjami objęto było 8 gatunków porostów reprezentujących wszystkie formy morfologiczne plechy.

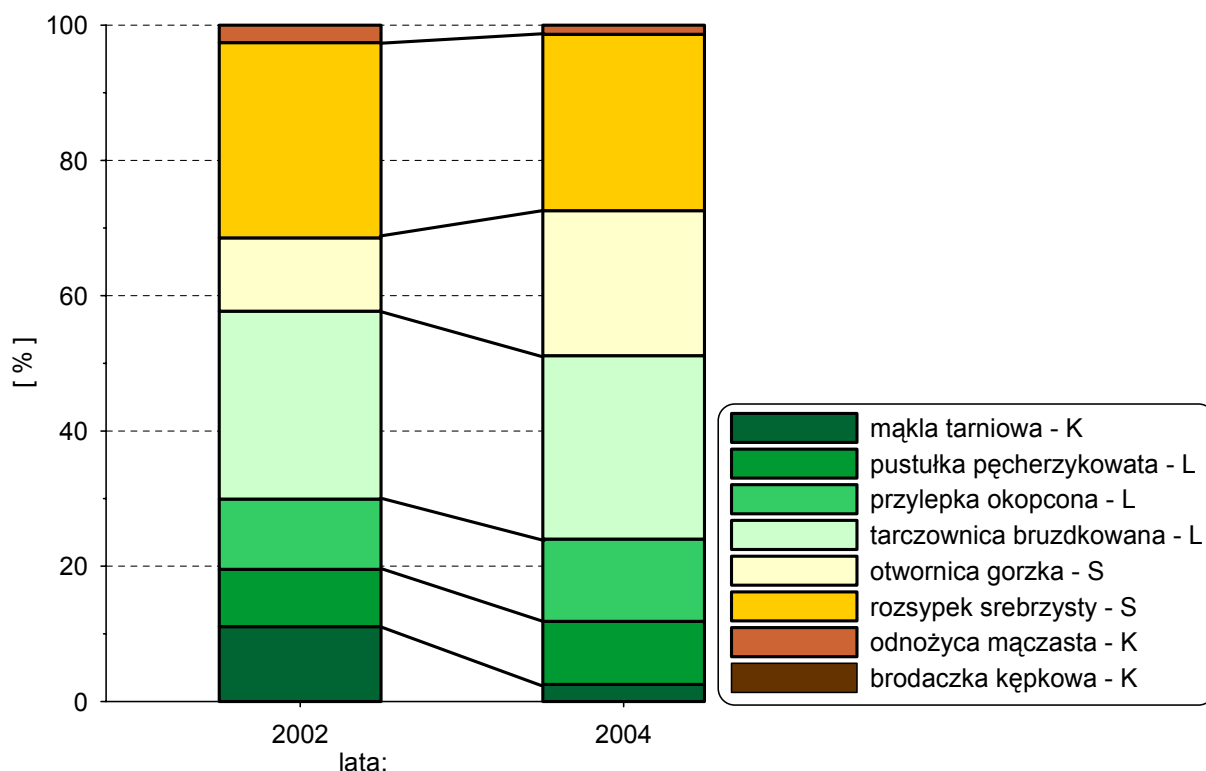


Ryc. 1. Procentowy wzrost lub spadek powierzchni plechy monitorowanych porostów w stosunku do roku 2002 obliczony na podstawie wszystkich stanowisk

wartość -100% (czerwona linia) oznacza całkowity zanik porostu, wartość 0 (czarna linia) oznacza stan w roku 2004 jak w roku 2002 – powierzchnia plechy bez zmian

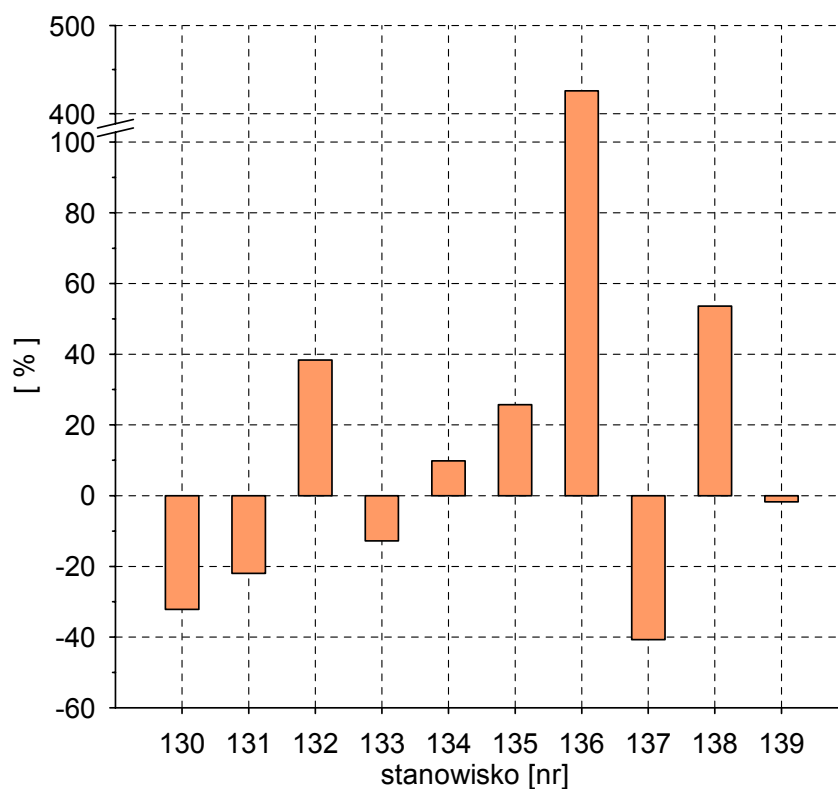
Uzyskane wyniki wskazują, że do gatunków, które wyróżniały się największą ekspansją w roku 2004 należy zaliczyć: otwornicę gorzką, rozsypkę srebrzystą oraz przylepkę okopconą i pustułkę pęcherzykową. W tej grupie porostów odnotowano więcej przypadków wzrostu powierzchni plechy w porównaniu do stanu z roku 2002 niż sytuacji redukcji pokrycia przez plechę lub jej całkowitego zaniku. Największy przyrost plechy miał miejsce na stanowisku 138, położonym na pniu jarzębiny (*Sorbus aucuparia*) odnotowany dla pustułki pęcherzykowej (*Hypogymnia physodes*), której powierzchnia plechy w roku

2002 wynosiła 0,19cm² natomiast w roku 2004 8,5cm² czyli powiększyła ponad 40-krotnie. Największą liczbę przypadków redukcji powierzchni plech zaobserwowano dla odnożyca mączastej (brak przypadków powiększenia plechy) oraz mąkli tarniowej. Poza rozsypkiem srebrzystym (*Phlyctis argena*) dla pozostałych monitorowanych porostów odnotowano sytuacje całkowitego zaniku danego gatunku na wybranych stanowiskach w stosunku do stanu z roku 2002. Najwięcej przypadków absencji zanotowano dla: odnożyca mączastej, otwornicy gorzkiej, oraz pustułki pęcherzykowatej.

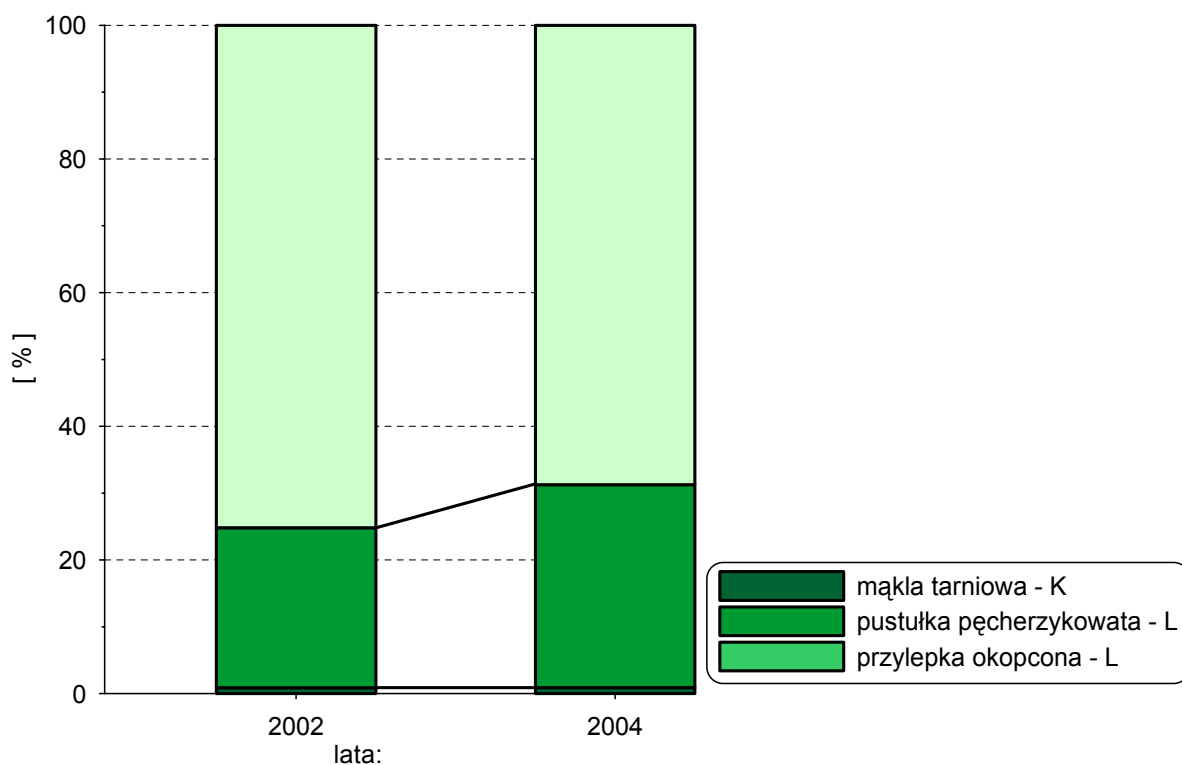


Ryc. 2. Procentowy udział powierzchni plech monitorowanych gatunków porostów w roku 2002 i 2004. Stacja Puszcza Borecka
K- porost krzaczkowy, L – listkowy, S - skorupiasty

Rozpatrując całkowitą powierzchnię analizowanych gatunków porostów w większości przypadków odnotowano redukcję pokrycia plech (ryc. 2). Powiększenie całkowitej powierzchni miało miejsce dla otwornicy gorzkiej i pustułki pęcherzykowatej. Największą redukcję pokrycia przez plechy uzyskano dla form krzaczkowych (mąkla tarniowa, odnożyca mączasta) czyli gatunków najbardziej wrażliwych, analogicznie jak w przypadku wyników badań prowadzonych w zlewni Czarnej Hańczy.



Ryc. 3. Procentowy spadek –wzrost pokrycia przez plechy porostów na poszczególnych stanowiskach pomiarowych w stosunku do roku 2002. Puszcza Borecka



Ryc. 4. Procentowy udział powierzchni plech monitorowanych gatunków porostów w roku 2002 i 2004. Stacja Koniczynka
K- porost krzaczkowy, L – listkowy

Na terenie zlewni Strugi Toruńskiej wytypowano 9 powierzchni testowych, na których do celów monitoringowych wybrano 4 gatunki porostów: *Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* oraz *Usnea hirta*. Największy wzrost o 92,6% odnotowano dla pustułki pęcherzykowatej (*Hypogymnia physodes*), jej powierzchnia zwiększyła się z 27,5cm² w roku 2002 do 52,87cm² w roku 2004, ponadto na wszystkich stanowiskach pomiarowych pojawiły się nowe plechy tego porostu. Maksymalny przyrost pokrycia przez plechę pustułki pęcherzykowatej odnotowano na stanowisku 6a i wyniósł on 400% (Kejna 2005). W przypadku pozostałych monitorowanych gatunków odnotowano także zwiększenie powierzchni plech, w tym także wzrost pokrycia przez plechę *Usnea hirta* (brodaczek kępkowy), która występuje tylko na jednym stanowisku w postaci pojedynczego egzemplarza.

Wzrost pokrycia przez plechy porostów w roku hydrologicznym 2004 odnotowano także na dwóch stacjach położonych na obszarze o zdecydowanie większym poziomie zanieczyszczenia powietrza. W przypadku stacji Święty Krzyż powierzchnia plech wzrosła na wszystkich stanowiskach pomiarowych. Na obszarze zlewni Bystrzanki, która jest uboga pod względem flory porostów poza pustułką pęcherzykowatą wzrosło pokrycie przez plechy pozostałych gatunków (Bochenek 2005). Największy przyrost powierzchni plechy zanotowano dla *Phlyctis argena* (rozsyпка srebrzystego) blisko 1,5-krotny.

Analizując przestrzennie zmiany pokrycia przez plechy porostów, które nastąpiły w okresie dwóch lat, można wyróżnić się dwie grupy stacji. Grupa pierwsza obejmuje stacje: Wigry i Puszcza Borecka, które są położone na obszarze o niewielkiej imisji zanieczyszczeń powietrza. Cechą wyróżniającą florę porostową tych obszarów jest względnie wysoki udział gatunków szczególnie wrażliwych na zmiany stanu zanieczyszczenia powietrza, są to przede wszystkim porosty o plechach krzaczkowatych. Zarówno w przypadku zlewni Czarnej Hańczy jak i zlewni jeziora Łękuk zanotowano spadek pokrycia przez plechy na monitorowanych stanowiskach. Podobne wnioski można wysnuć w oparciu o kartowanie przeprowadzone w roku 2003 na terenie zlewni górnej Parsęty (Jesionowska 2003). Stację w Storkowie pod względem stopnia zanieczyszczenia powietrza oraz spektrum gatunków występujących porostów można zaklasyfikować do wymienionej grupy.

W porównaniu do wymienionych stacji zarówno na terenie zlewni Strugi Toruńskiej, zlewni Bystrzanki oraz na Świętym Krzyżu odnotowano wyraźny wzrost powierzchni porostów nadrzewnych. Wyżej wymienione stacje zlokalizowane są na obszarze gdzie stężenie dwutlenku siarki w powietrzu zdecydowanie przewyższa wartości notowane w pierwszej grupie stacji. Odnotowany wzrost pokrycia przez plechy porostów, pomimo ostatnio obserwowanych znacznych fluktuacji pogodowych, zwłaszcza w roku 2002 (rok wilgotny) i 2003 (rok suchy), wskazywałby na spadek zawartości zanieczyszczeń w powietrzu.

Nie można również wykluczyć, że zmiana powierzchni plech jest efektem naturalnych procesów łuszczenia się kory drzew, zwłaszcza w przypadku gatunków iglastych oraz powiększania się powierzchnia pnia wraz z wiekiem drzewa (Krzysztofiak 2005). Modyfikacja metodyki pomiaru plech porostów oraz uzyskanie wyników pomiarów w dłuższej skali czasu pozwoli określić przyczyny widocznej zmiany powierzchni plech.

FAUNA BEZKRĘGOWA

Podstawowym celem programu 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.

W roku 2004 na Stacjach Bazowych rozpoczęto program monitoringu fauny chrząszczy z rodziny biegaczowatych *Carabidea*. Badania prowadzone były w wytypowanych typach siedliskowych lasu, odłow chrząszczy prowadzono od maja do września. Celem przeprowadzonych badań w roku 2004 była dokumentacja „stanu zerowego”, który umożliwi w oparciu o kolejne wyniki obserwacji fauny biegaczowatych określenie kierunku i dynamiki zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym badanych obszarów zlewni reprezentatywnych.

Analiza zgromadzonego materiału objęła określenie odpowiednich wskaźników ekologicznych takich jak:

- skład gatunkowy i różnorodność gatunkową,
- strukturę dominacji zgrupowań,
- strukturę troficzną zgrupowań,
- łowność

W zlewni jeziora Łękuk monitoring biegaczowatych prowadzono na trzech powierzchniach testowych: w grądzie, lesie mieszanym oraz w borze bagiennym. Najwięcej gatunków *Carabidea* odnotowano na powierzchni zlokalizowanej w siedlisku grądu, najmniej w borze bagiennym.

W borze bagiennym na terenie zlewni Czarnej Hańczy w odłowionym materiale jako edominanty występowały dwa gatunki – szykoń czarny (*Pterostichus niger*) oraz biegacz gładki (*Carabus glabratus*) (Krzysztofiak 2005). Ogółem w borze bagiennym występowało 8 gatunków. Na drugiej powierzchni testowej położonej w lesie mieszanym odłowiono łącznie 1090 chrząszczy z rodziny *Carabidea* należących do 13 gatunków, gdzie eudominatami był: szykoń czarny i biegacz ogrodowy (Krzysztofiak 2005).

Monitoring biegaczowatych na terenie stacji Święty Krzyż prowadzono na dwóch powierzchniach testowych: w lesie wyżynnym i górskim. Na pierwszej z nich odłowiono ogółem 1544 osobniki należące do 18 gatunków biegaczowatych. Dominującymi gatunkami były: *Carabus linnaei* Duft., i *Carabus glabratus* Payk.

Tab. 1. Charakterystyka struktury biegaczowatych Carabidae w roku hydrologicznym 2004

Stacja bazowa	stanowisko	Wskaźnik łowności	Wskaźnik bogactwa gatunkowego Margalefa	Struktura dominacji					Struktura troficzna		
				eudominaty	dominaty	subdominaty	recendenty	subrecendenty	zoofagi duże	zoofagi małe	Hemi-zofagi
				%							
Puszcza Borecka	Bór bagienny	0,008	0,92	89,5	10,5	-	-	-	100	-	-
	Las mieszany	0,38	0,51	86,2	-	6,5	6,7	1,6	81,0	19,0	-
	grąd	0,22	0,93	57,4	24,1	12,6	2,6	3,4	62,3	37,7	-
Wigry	Bór bagienny	0,04	0,79	73,9	7,2	21,6	-	-	97,3	2,7	-
	Las mieszany	0,48	0,39	77,7	19,2	3,1	-	-	92,2	6,7	0,1
Św. Krzyż	Las wyżynny	0,69	0,46	85,2	6,6	3,7	1,4	3,3	90,7	9,3	-
	Las górski	0,13	1,06	51,4	26,7	17,0	3,8	1,0	70,8	29,2	-
Szymbark	Las wyżynny	0,36	0,45	76,7	14,5	3,9	3,4	1,5	77,7	22,3	-
	Las górski	0,16	0,58	85,2	5,0	5,9	2,2	1,7	84,9	15,1	-

W przypadku drugiej powierzchni położonej w lesie górskim odłowiono 288 egzemplarzy należących do 18 gatunków. Najliczniej reprezentowane były: *Carabus coriaceus* L. oraz *Carabus linnaei* Duft.

Przeprowadzone na podstawie pierwszego roku odłowu biegaczowatych na wytypowanych powierzchniach w zlewni Bystrzanki wskazują, że wskaźnik łowności kształtował się na niskim poziomie (Bochenek 2005). W przypadku siedliska lasu górskiego odłowiono 358 osobników należących do 11 gatunków, natomiast w lesie górskim 815 osobników należących do 13 gatunków *Carabidea*.

Na obszarze zlewni Strugi Toruńskiej przedmiotem monitoringu były dżdżownice (*Lumbricidae*). Badania prowadzono na dwóch powierzchniach testowych uprawianych rolniczo. Wyniki przedstawionych badań pokazują, że w glebach uprawnych oprócz naturalnych czynników kształtujących wielkość i dynamikę zmian ilościowych zgrupowań dżdżownic istotne znaczenie ma liczba i charakter zabiegów agrotechnicznych niezbędnych dla różnych upraw oraz terminy ich stosowania w relacji do cyklu życiowego zwierząt (Czarnecki i in. 2005)

PODSUMOWANIE

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego jest podsystemem Państwowego Monitoringu Środowiska. Podstawowym celem ZMŚP jest bilansowanie obiegu materii i przepływu energii w różnych skalach przestrzennych i czasowych, bioindykacja i monitoring zmian bio i georóżnorodności (Kostrzewski, Mazurek, Stach 1995). Cel ten realizowany jest przez prowadzenie szerokiego zakresu obserwacji i pomiarów w obrębie abiotycznych i biotycznych komponentów geoekosystemu. Rok 2004 był jedenastym rokiem realizacji programu ZMŚP na siedmiu Stacjach Bazowych. Uzyskane wyniki badań pozwoliły zdiagnozować stan wybranych geoekosystemów Polski w roku 2004.

Funkcjonowanie geoekosystemów uwarunkowane jest dopływem energii słonecznej, która reguluje obieg materii, stąd tak istotne jest rozpoznanie warunków meteorologicznych okresu w skali którego prowadzone jest bilansowanie.

Warunki meteorologiczne w roku hydrologicznym 2004 pod względem rozkładu podstawowych charakterystyk termicznych i opadowych były zbliżone do wartości z wielolecia. Pod względem średniej rocznej temperatury powietrza analizowany okres badawczy został zaliczony do lat normalnych. Względnie ciepły początek wiosny i wyższe temperatury w okresie jesiennym miały wpływ na dłuższy okres wegetacyjny w roku 2004. Cechą charakterystyczną ostatnich lat jest utrzymujący się wzrost rocznej amplitudy powietrza. Tendencja ta zaznacza się na wszystkich Stacjach Bazowych nie zależnie od położenia geograficznego. Wzrost amplitudy temperatur powietrza wskazuje na coraz większą dominację cech klimatu kontynentalnego w klimacie Polski.

Elementem meteorologicznym, który wyróżnia rok 2004 na tle ostatnich lat są warunki opadowe. Poprzedzające lata 2002 i 2003 pod względem rocznych sum opadów znacząco odbiegały od przeciętnych wartości z wielolecia 1994 – 2004. Rok 2002 został zaliczony do lat szczególnie wilgotnych, natomiast atrybutem roku 2003 był największy dotychczas odnotowany w ramach ZMŚP deficyt opadów atmosferycznych. Pod względem sumy rocznej opadów analizowany okres został zaliczony do lat normalnych. Zmianie ulega struktura opadów. Wzrasta udział opadów umiarkowanych (o wysokości 5,1-10,0mm) oraz opadów najbardziej wydajnych. Cechą charakterystyczną ostatnich lat jest wzrost zróżnicowania czasowego sum opadów w skali roku hydrologicznego.

Do zjawisk meteorologicznych o skali zdarzenia ponadprzeciętnej, które wystąpiły w roku hydrologicznym 2004, należy zaliczyć rekordowo wysoką sumę opadów w lipcu na obszarze zlewni Bystrzanki. Odnotowana wówczas miesięczna suma opadów 270,8mm stanowiła 31% sumy rocznej.

Deficyt opadów atmosferycznych w roku poprzedzającym oraz korelacja czasowa roztopów i wysokich sum opadów atmosferycznych w roku 2004 miały decydujący wpływ na

zmienność czasową przepływu i wielkość odpływu z monitorowanych zlewni rzecznych. Wielkość odpływu powierzchniowego w przypadku badanych zlewni mniejsza niż deficytowy w opady roku 2003 potwierdza rekonstrukcje zasobów wodnych.

Do podstawowych celów ZMŚP należy poznanie mechanizmów obiegu materii w podstawowych typach geoekosystemów Polski. Głównym źródłem dopływu materii do geoekosystemu jest depozycja atmosferyczna, która jest funkcją rocznej sumy opadów atmosferycznych i stężeń jonów w opadzie. Parametry chemiczne opadów atmosferycznych zależą od jakości i ilości zanieczyszczeń obecnych w powietrzu. Generalnie uzyskane wyniki stężeń zanieczyszczeń powietrza (dwutlenku siarki, związków azotu – tlenowych i beztlenowych) na stacji Puszcza Borecka potwierdzają, że rok hydrologiczny 2004 pod względem wymienionych składników nie odbiegał znacząco od lat minionych.

Analiza składu chemicznego opadów atmosferycznych przeprowadzona dla roku hydrologicznego 2004 wskazuje, że w przypadku grupy anionów największym udziałem procentowym charakteryzują się jony siarczanowe i azotanowe. Stan ten nie odbiega istotnie od udziału procentowego anionów w roku 2003. Zaznacza się jednak coraz większe znaczenie azotanów w składzie chemicznym opadów atmosferycznych. Wśród kationów największym udziałem procentowym wyróżniają się jony amonowe (Storkowo, Puszcza Borecka), jony wapniowe (Święty Krzyż) oraz jony magnezowe (Wigry). W opadach atmosferycznych na obszarze zlewni Bystrzanki wysokim udziałem w składzie kationów wyróżniały się jony hydroniowe.

Zestawienie uzyskane wyniki średnich rocznych stężeń dla jonów: siarczanowych, azotanowych, chlorkowych oraz amonowych z wartościami progowymi klasyfikacji Jansena i in. (Leśniok 1998) dla lat: 2002, 2003 potwierdza wyraźny spadek stężeń wymienionych elementów składu chemicznego opadów w roku 2004 dla wszystkich Stacji Bazowych.

Podstawowe znaczenie dla poziomu depozycji atmosferycznej w roku hydrologicznym 2004 miały roczne sumy opadów atmosferycznych dla Stacji Bazowych położonych na obszarze gdzie poziom zanieczyszczenia powietrza jest zbliżony do wartości tła. Dla stacji zlokalizowanych na obszarze gdzie poziom zanieczyszczeń przekracza wartości tła o wielkości rocznej depozycji obok sumy opadów decydują fluktuacje stężeń zanieczyszczeń w powietrzu, związanych z lokalną emisją.

Jednostką przestrzenną, która pozwala na całościowe ujęcie obiegu materii jest zlewnia rzeczna. Odpływ powierzchniowy stanowi główną drogę oprowadzania zarówno zawieszin i substancji rozpuszczonych z obszaru zlewni. Pod względem składu chemicznego analizowane wody reprezentują wody proste, wysokozmineralizowane o odczynie obojętnym lub zasadowym (poza wodami potoku leśnego na zboczu Łysej Góry).

Głównym zagrożeniem dla ekosystemów rzecznych badanych w ramach ZMŚP są zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego. W grupie biogenów uzyskane wartości percentyla 90 dla miesięcznych stężeń azotanów pozwoliły zaklasyfikować badane cieki do I klasy jakości wód (Puszcza Borecka odpływ 100, Parsęta, Czarna Hańcza - Sobolewo, leśny potok na Świętym Krzyżu) oraz II klasy w przypadku: Bystrzanki oraz Strugi Toruńskiej (w punkcie Koniczynka). Zdecydowanie gorzej przedstawia się jakość wód rzecznych pod względem stężeń fosforanów. Do klasy I zostały zaliczone: Bystrzanka, Parsęta oraz leśny potok (C6) na Świętym Krzyżu. Pozostałe cieki reprezentują wody o III klasy jakości.

Ładunek substancji odprowadzanych ze zlewni rzecznych jest funkcją ilości wody odpływającej w jednostce czasu z powierzchni zlewni i stężeń odprowadzanych w wodzie rozpuszczonych soli. Czynnikiem, który decyduje o odprowadzonym ładunku z obszaru zlewni są warunki opadowe, gdyż one determinują wielkość odpływu wody ze zlewni. Pomimo wystąpienia rocznych sum opadów zbliżonych do wartości przeciętnych z wielolecia, spływ jonowy był mniejszy lub porównywalny do deficytowego pod względem opadów roku 2003. Przyczyną była rekonstrukcja zasobów wodnych w badanych zlewniach i tym samym mniejsze wartości odpływu powierzchniowego. Dotyczy to przede wszystkim zlewni nizinnych, cechujących się dużą bezwładnością.

W programie pomiarowym ZMŚP priorytet ma pozyskiwanie danych umożliwiających ocenę bilansu gleby i roślinności. Ujęcie bilansowe obok jednostki przestrzennej, jaką jest zlewnia rzeczna dotyczy również przepływu materii w profilu pionowym: atmosfera – roślinność – gleba.

Uzyskane wyniki badań monitoringowych prowadzonych w zbiorowiskach leśnych na Stacjach Bazowych potwierdzają istotną rolę, jaką odgrywa roślinność w procesie transformacji właściwości chemicznych opadów atmosferycznych. Zwiększona depozycja jonów pod koronami drzew jest przede wszystkim efektem adsorpcji zanieczyszczeń atmosferycznych przez rośliny. Procesy te są szczególnie intensywne na obszarze o znacznej emisji zanieczyszczeń powietrza i dotyczą przede wszystkim siarczanów, azotanów, chlorków, jonów amonowych, sodu, wapnia.

Uzyskane rozkład wskaźnika pojemności zobojętniania kwasów ANCaq w profilu glebowym na Świętym Krzyżu potwierdza niewielkie właściwości buforowe gleby wobec kwasów. W takich warunkach zwiększony depozyt związków azotu, siarki oraz chlorków pod koronami drzew powodować może uwalniania metali kwaśnych: glinu, żelaza oraz manganu do roztworów glebowych i toksyczne oddziaływanie zarówno dla roślin i fauny glebowej.

W ramach systemu pomiarowego ZMŚP prowadzone są badania mające na celu monitoring (bioindykację) wybranych biologicznie elementów geoekosystemu czułych na zmiany bilansu biogenów i substancji toksycznych.

W roku hydrologicznym 2004 wykonano ponowny obrys plech porostów na stacjach: Wigry, Puszcza Borecka, Konieczynka oraz Święty Krzyż i Szymbark. Uzyskane wyniki wskazują na zmniejszanie się powierzchni plech, zwłaszcza gatunków, które są najbardziej wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza. Procesy te są szczególnie widoczne w przypadku stacji położonych na terenie gdzie stężenie dwutlenku siarki w powietrzu jest niskie. Nie należy jednak wykluczyć, że przyczyną zanikania porostów są procesy naturalnego łuszczenia się kory drzew, czy powiększenia się powierzchnia pnia na którym umieszczona jest powierzchnia badawcza.

W roku hydrologicznym 2004 na stacjach bazowych uruchomiano monitoring fauny chrząszczy z rodziny biegaczowatych *Carabidea*. Badania prowadzone były w wytypowanych typach siedliskowych lasu, odłów chrząszczy prowadzono od maja do września. Celem przeprowadzonych badań w roku 2004 była dokumentacja „stanu zerowego”, który umożliwi w oparciu o kolejne wyniki obserwacji fauny biegaczowatych określenie kierunku i dynamiki zmian zachodzących środowisku przyrodniczym badanych obszarów zlewni reprezentatywnych.

Realizowany w roku hydrologicznym program ZMŚP dostarczył danych ilościowych i jakościowych o aktualnym stanie geoeosystemów Polski, które umożliwiają dalsze rozpoznanie obiegu energii i materii oraz wskazanie rodzaju i charakteru zagrożeń dla badanych obszarów.

Funkcjonowanie wybranych geoeosystemów Polski w roku 2004 podporządkowane było warunkom meteorologicznym. Zarówno pod względem średniej temperatury powietrza i rocznej sumy opadów analizowany rok został zaliczony do lat normalnych, przeciętnych w skali wielolecia 1994 -2004. Niebagatelne znaczenie dla dynamiki procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym w analizowanym okresie miały warunki termiczno-opadowe roku 2003 w tym przede wszystkim deficyt opadowy. Pomimo sum opadów zdecydowanie większych od notowanych w roku 2003 uzyskane rozkłady stanów wód podziemnych oraz wskaźniki odpływu odbiegają in minus od wartości przeciętnych. Potwierdza to rekonstrukcję zasobów wodnych w badanych zlewniach rzecznych.

Coraz większe znaczenie dla funkcjonowania geoeosystemów mają zjawiska ponadprzeciętne. W analizowanym okresie do takiego typu zjawisk należy zaliczyć intensywne opady atmosferyczne, które wystąpiły na terenie zlewni Bystrzanki w trzeciej dekadzie lipca. Intensywny opad deszczu nie tylko przyczynił się do wystąpienia wezbrania w korycie Bystrzanki ale uruchomił odpływ substancji rozpuszczonych w tym także związków biogennych, który stanowił niemalże 30% sumy rocznej ładunku wynoszonego z terenu zlewni.

LITERATURA

- Bochenek, W., 2005: Raport z pomiarów wykonywanych w ramach Zintegrowanego Środowiska Przyrodniczego w zlewni Bystrzanki (Beskid Niski) w roku hydrologicznym 2003. Stacja Bazowa ZMŚP, Stacja Naukowo-Badawcza IGIPZ PAN. Szymbark. Ms.
- Gower C., Rowell D. L., Nortcliff S., Wild A., 1995: Soil acidification: comparison of acid deposition from the atmosphere with inputs from the litter/soil organic layer. *Geoderma*, 66, 85-98
- Jóźwiak, M., Kozłowski, R., Wróblewski, H., 2005: Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego "Święty Krzyż" za rok 2003. Akademia Świętokrzyska im. Jana Kochanowskiego, Stacja Monitoringu, Kielce. Ms.
- Kejna, M., (Red.), 2005: Raport za rok hydrologiczny 2003. Stacja Bazowa ZMŚP w Koniecznie 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. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2001: Pedogeniczne czynniki procesów zakwaszania wód w ekosystemie leśnym Świętokrzyskiego PN. [w:] Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza (red.) M. Jóźwiak, A. Kowalkowski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce
- Krzysztofiak, L. (Red.), 2005: Ocena stanu środowiska Stacji Bazowej Wigry za rok 2003. Wigierska Stacja Bazowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Krzywe. Ms.
- Kowalkowski A., 2001: Wskaźniki ekochemiczne stanu gleb leśnych zagrożonych przez zakwaszenie. [w:] Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza (red.) M. Jóźwiak, A. Kowalkowski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce
- 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 geosystemów 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

- Śnieżek, T. (red.), 2005: Raport Stacji Bazowej ZMŚP za rok hydrologiczny 2003. Instytut Ochrony Środowiska. Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, Warszawa. Ms.
- Van Breemen N., Visser W. F. J., Pape Th., 1989: Biogeochemistry of an oak-woodland ecosystem in the Netherlands affected by acid atmospheric deposition. Agricultural Research Report 930, Pudoc Wageningen
- Wierzbicki, A., 2005: Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego "Pożary", rok hydrologiczny 2003. Kampinoski Park Narodowy. Granica, Ms.