

STAN GEOEKOSYSTEMÓW POLSKI – OCENA NA PODSTAWIE WYBRANYCH GEOWSKAŹNIKÓW W PROGRAMIE ZINTEGROWANEGO MONITORINGU ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Andrzej Kostrzewski, Józef Szpikowski, Grażyna Szpikowska

Kostrzewski A., Szpikowski J., Szpikowska G., 2011: Stan geosystemów Polski – ocena na podstawie wybranych geoskaźników w programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (*Geocosystems Polish state – an assessment based on selected geoindicators in the Integrated Monitoring of the Natural Environment programme*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego Vol. 12, s. 69–83, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Ocena aktualnego stanu, trendów zmian oraz zagrożeń i ochrona środowiska geograficznego są podstawowym celem badań realizowanych od roku 1994 w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Ilościowe i jakościowe geoskaźniki, opracowywane na podstawie gromadzonej w ZMŚP bazy danych, pozwalają na pełniejszą i bardziej kompleksową ocenę stanu geosystemów Polski. Zastosowane geoskaźniki potwierdzają szereg istotnych przemian i poprawę stanu geosystemów: zmniejszanie się zanieczyszczeń i wzrostu pH w opadach atmosferycznych oraz spadek stężeń jonów siarczanowych w wodach opadowych, podziemnych i powierzchniowych.

Słowa kluczowe: geosystemy Polski, geoskaźniki, środowisko geograficzne, Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego.

Key words: *geocosystems, geographical environment, geoindicators, Integrated Monitoring of the Natural Environment, Polish geocosystems.*

Andrzej Kostrzewski, Józef Szpikowski, Grażyna Szpikowska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Stacja Geoekologiczna w Storkowie, Storkowo 32, 78-450 Grzmiąca, e-mail: szpiko@amu.edu.pl

1. Wprowadzenie

Rozpoznanie aktualnego stanu oraz mechanizmów funkcjonowania współczesnych geosystemów stanowi priorytetowe zadanie badawcze studiów środowiskowych. Aktualny stan geosystemu określamy jakościowo i ilościowo, podając stan energii i materii geosystemu w przyjętym terminie obserwacji, na podstawie zorganizowanego, standaryzowanego monitoringu wybranych elementów środowiska geograficznego (Kostrzewski, 1993).

Uzyskane wyniki określające aktualny stan geosystemu stanowią podstawę sporządzenia mapy geosocjologicznej, która ujmuje aktualny stan geosystemu i formy zagrożeń oraz wskazuje kierunki ochrony.

Ważną formą ukazującą aktualny stan geosystemu są mapy georóżnorodności (Kostrzewski, 1998) oraz wartości wybranych geoskaźników, które ujmują indywidualność badanych geosystemów.

W niniejszym opracowaniu stosowany jest termin ‘środowisko geograficzne’, przez który rozumiemy obiektywnie otaczającą nas przestrzeń z przyrodą nieożywioną i ożywioną wraz z człowiekiem i efektami

jego działania. Termin ten wyraźniej (aniżeli inne terminy) akcentuje miejsce i znaczenie przyrody nieożywionej w przestrzeni.

Przyjęta metodyka badań w programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego podporządkowana jest całościowemu ujęciu funkcjonowania środowiska geograficznego – geoekosystemu składającego się z podsystemów: atmosfery, pedosfery, litosfery, hydrosfery, biosfery i antroposfery (Kostrzewski, 1995). Przyjęcie zlewni rzecznej lub jeziornej za podstawową jednostkę przestrzenną w badaniach przyrodniczych umożliwia w programie ZMŚP bilansowe ujęcie przepływu energii i obiegu materii w badanych geoekosystemach (Kostrzewski, 1993; Kostrzewski i in., 1995). Cele badawcze ZMŚP są realizowane w trzech głównych aspektach:

- bilansu energii i materii w systemie zlewni rzecznej lub jeziornej,
- przepływu materii w profilu: atmosfera – roślinność – gleba,
- monitoringu wybranych abiotycznych i biotycznych elementów geoekosystemu w przyjętych przedziałach czasowych.

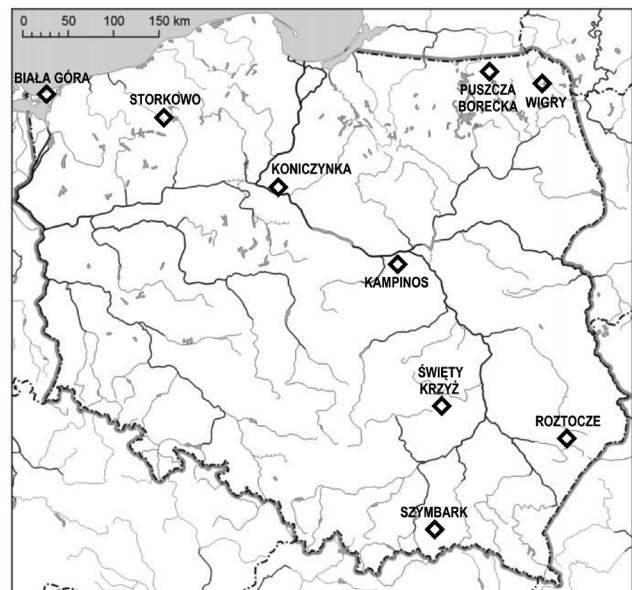
Na podstawie przyjętej metodologii i metodyki badawczej sporządzane są raporty i inne opracowania o stanie geoekosystemów Polski, w których zawarte są rezultaty monitoringu prowadzonego w ośmiu Stacjach Bazowych ZMŚP (Bochenek, 2006; Gil, Bochenek, 1998; Józwiak i in., 2006; Kejna, 2006; Krzysztofak, 2006; Lenartowicz i in., 2006; Śnieżek i in., 2006; Szpikowski i in., 2006; Wierzbicki, 1998; Wójcik i in., 1998; Żarska i in., 1998). Wartość opracowywanych syntez wzrasta w miarę standaryzacji i rozszerzania zakresu pomiarowego oraz uzyskiwania coraz dłuższych serii pomiarowych gromadzonych w centralnej bazie danych ZMŚP.

Pełniejsze wykorzystanie możliwości badawczych programu ZMŚP winno dostarczyć jakościowych i ilościowych kompleksowych informacji o aktualnym stanie, zagrożeniach i trendach rozwoju środowiska geograficznego (Kostrzewski, 1995). Głównym celem Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, w odróżnieniu od monitoringów branżowych, są syntetyczne opracowania ujmujące w sposób kompleksowy związki przyczynowo-skutkowe między monitorowanymi elementami środowiska geograficznego i skutki ich oddziaływania na środowisko geograficzne. Dane ilościowe gromadzone w bazie ZMŚP są kluczem do realizacji głównych założeń metodycznych programu ZMŚP, czyli zdefiniowania wskaźników jakości środowiska geograficznego oraz określenia progów odporności środowiska na konkretne zagrożenia. Służą

m.in. temu wprowadzane do praktyki ZMŚP tzw. geoindykatory. Koncepcja geoindykatorów (geowskaźników) została zaproponowana przez Międzynarodową Unię Geologiczną (IUNG) w roku 1992 (Zwoliński, 1998) i stanowiła próbę ujednoczenia różnorodnych wskaźników stosowanych szeroko w naukach geograficznych, a szczególnie w monitoringu i ochronie środowiska.

2. Metody badań i stosowane geowskaźniki

Podstawowym obiektem badań w podsystemie ZMŚP jest zlewnia rzeczna lub jeziorna, w zasięgu której zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze i stanowiska pomiarowe ujmujące możliwie różne typy badanych geoekosystemów. Szeroki zakres komplementarnych badań stacjonarnych prowadzony jest według standaryzowanych metod w obrębie 8 Stacji Bazowych (od roku 2011 również w Stacji Bazowej Roztocze), w reprezentatywnych zlewniach rzecznych lub jeziornych (ryc. 1). W funkcjonującym obecnie systemie pomiarowym Stacji Bazowych można wyróżnić transekt południkowy, który ujmuje główne strefy krajobrazowe Polski (Wolin – wybrzeże Bałtyku, Storkowo, Koniczynka k. Torunia, Puszcza Borecka i Wigry – obszar młodoglacjalny, Kampinos – Niż Środkowopolski, Święty Krzyż – stare góry, Szymbark – obszary górskie), jak i transekt równoleżnikowy, przebiegający przez strefę młodoglacjalną Polski północnej (od zachodu: Wolin, Storkowo, Koniczynka, Puszcza Borecka i Wigry).



Ryc. 1. Lokalizacja Stacji Bazowych ZMŚP w Polsce
Fig. 1. Location of the IMNE Base Stations in Poland

Prezentowane wyniki badań zostały opracowane na podstawie raportów Stacji Bazowych ZMŚP za rok 2010 i dotyczą stanu środowiska geograficznego i jego przemian w ciągu ostatnich 17 lat. W opracowaniu wykorzystano również dane pomiarowe zgromadzone w Centralnej Bazie Danych programu ZMŚP.

Głównym celem niniejszego opracowania jest:

- przedstawienie stanu geosystemów Polski w roku 2010,
- prezentacja geoskaźników możliwych do stosowania w odniesieniu do wybranych elementów środowiska geograficznego.

Wskaźniki jakości środowiska przyrodniczego są coraz częściej stosowane w opracowaniu materiałów uzyskiwanych podczas realizacji programu ZMŚP. Przykładem może być wskaźnik termiczno-opadowy stosowany obligatoryjnie przez wszystkie Stacje Bazowe w odniesieniu do charakterystyki warunków meteorologicznych roku i wielolecia (Lorenc, 1998). Inne wprowadzane stopniowo do programu ZMŚP geoskaźniki ujmują różne właściwości środowiska geograficznego i są przedmiotem niniejszego opracowania.

2.1. Wskaźnik tendencji opadowych

Wskaźnik ten został opracowany w Stacji Bazowej w Storkowie (Kostrzewski i in., 2007). Potrzeba wprowadzenia wskaźnika, który ujmowałby warunki opadowe w dłuższym okresie, a zarazem w odniesieniu do lokalnych uśrednionych stosunków opadowych, jest uzasadniona tym, że wielkość i rozkład czasowy opadów atmosferycznych ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania i stanu środowiska geograficznego zlewni, decydując o krążeniu wody w geosystemie. Analiza warunków opadowych winna być oparta na danych wieloletnich. Bezładność geosystemu zlewni rzecznej – szczególnie duża w przypadku zlewni młodoglacjalnych o małej zmienności odpływu w czasie – sprawia, że to właśnie długookresowe trendy opadowe decydują o zasilaniu, odnawianiu bądź naruszaniu zasobów wodnych retencjonowanych w zlewni. Dalsze konsekwencje to np. wielkość odprowadzanego ze zlewni ładunku rozpuszczonego i nierozpuszczonego oraz stan flory i fauny. Ocena jakiegokolwiek elementu środowiska geograficznego zlewni (abiotycznego i biotycznego), dla którego funkcjonowania istotna jest ilość wody (opadowej, powierzchniowej, glebowej, podziemnej), powinna zatem uwzględniać aktualną sytuację w odniesieniu do wieloletnich trendów opadowych. Proponowany wskaźnik tendencji opadowych (WTO) oparty jest na różnicach między sumą opadu w kolejnym miesiącu a średnią sumą opadu dla danego miesią-

ca z całego wielolecia obserwacyjnego. Po utworzeniu szeregu kumulacyjnego obliczonych różnic uzyskuje się ciąg wartości wskazujących na zachodzące w wieloleciu trendy opadowe. Jednostką obliczonego wskaźnika WTO są mm. Obniżanie się lub wzrost wartości WTO można wiązać odpowiednio z naruszaniem lub odnawianiem retencji wodnej zlewni.

2.2. Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych

Wskaźnik ten został wprowadzony w raportach ze Stacji Bazowej Storkowo (Szpikowska, 2004) na podstawie tzw. klasyfikacji austriackiej (Jansen i in., 1988). Ze względu na swą przydatność do oceny podstawowych, najważniejszych cech jakościowych opadów atmosferycznych, czyli odczynu i przewodności elektrolitycznej, został wprowadzony do obligatoryjnego stosowania w opracowaniach ze Stacji Bazowych ZMŚP. Klasyfikacja pH/SEC odznacza się dużą poglądością: po umieszczeniu na jednym wykresie danych z różnych Stacji Bazowych ukazuje zróżnicowanie jakościowe wód opadowych w różnych geosystemach Polski, natomiast po umieszczeniu na jednym wykresie danych z wielolecia dla określonej Stacji obrazuje zachodzące zmiany czasowe jakości opadów. Wskaźnik lokuje wody opadowe w jednej z 6 klas jakościowych zarówno w przypadku przewodności elektrolitycznej, jak i w przypadku odczynu opadów atmosferycznych (Jansen i in., 1988).

2.3. Wskaźnik pH opadów atmosferycznych

Ten geoindykator został zaproponowany w raportach Stacji Bazowej w Storkowie w roku 2007 (Kostrzewski i in., 2007). Punktem wyjścia do obliczenia wskaźnika pH opadów atmosferycznych (WpH) jest obliczenie częstości występowania opadów o określonym pH w danym roku (okresie) pomiarowym. Zgodnie z klasyfikacją (Jansen i in., 1988) oraz w nawiązaniu do metodyk ZMŚP (Degórska, Śnieżek, 1993) wyróżnia się opady o różnych klasach pH. Zasadnicze znaczenie ma przy ocenie jakości opadów atmosferycznych ich zakwaszenie, prowadzące w dalszej kolejności do negatywnych przemian w środowisku glebowym oraz roślinnym i zwierzęcym. Wskaźnik pH opadów atmosferycznych uwzględnia to poprzez wykazanie, jak przedstawia się dla danego okresu pomiarowego (roku) stosunek udziału opadów o pH silnie obniżonym do udziału opadów o pH normalnym. Spadek wartości liczbowej WpH oznacza pozytywną zmianę, wskazującą na większy udział opadów o pH normalnym.

2.4. Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów

Wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów (WCK) został wprowadzony do raportów ZMŚP w Stacji Geoekologicznej w Storkowie w roku 2000 (Kostrzewski i in., 2007). Został zaakceptowany i zalecany do stosowania w raportach Stacji Bazowych (Śniezek, 2010). Wskaźnik WCK jest zdefiniowany jako stosunek średnich ważonych stężeń jonów NO_3^- i SO_4^{2-} wyrażonych w mikroekwiwalentach na dm^3 . Jeśli wskaźnik przyjmuje wartość poniżej 1, w zakwaszaniu wód opadowych większy udział ma SO_2 , wartości powyżej 1 wskazują na dominację NO_x w zakwaszaniu, natomiast wartość 1 dotyczy równocennego udziału SO_2 i NO_x w zakwaszaniu wód opadowych (Szpikowska, 2011).

Zmiany zachodzące w chemizmie opadów atmosferycznych, wód podziemnych i powierzchniowych, obserwowane w części Stacji Bazowych jako wyraźne trendy wieloletnie, pozwalają na zastosowanie jako geoskaźnika stężeń jonów azotanowych i siarczanowych. Obecność tych jonów może wskazywać na zmiany zachodzące m.in. w jakości powietrza atmosferycznego oraz opadów.

3. Obieg i ilość wody w geosystemach jako wskaźnik stanu środowiska geograficznego

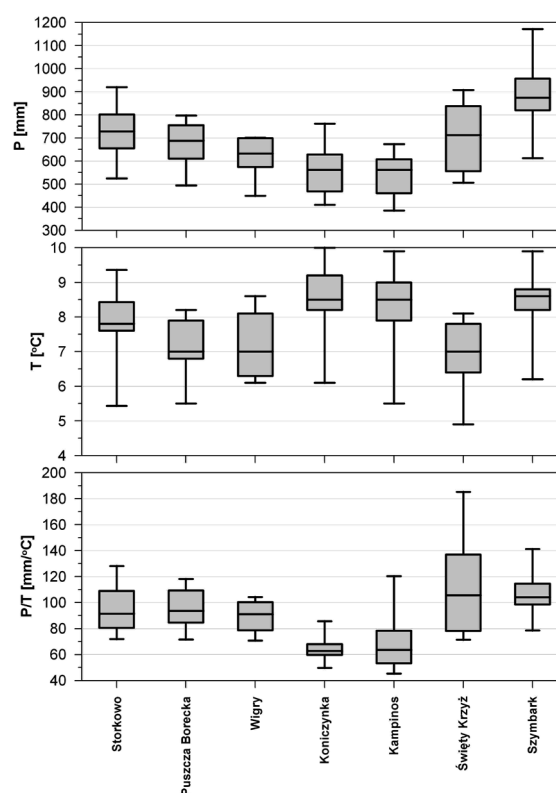
Monitoring w zlewniach badawczych ZMŚP wykazuje, że najważniejsze znaczenie dla funkcjonowania sfery abiotycznej i biotycznej geosystemów Polski ma obieg wody, w tym:

- ilość wody krążącej w geosystemie,
- dynamika obiegu wody (rozkład czasowy opadów i odpływu rzeczny, okresy posuch i okresy nasilonych opadów rozlewnych bądź skumulowanych w czasie opadów nawałnych,
- długookresowe trendy dostawy wody do geosystemów.

Dostawa wody do badanych geosystemów jest zróżnicowana w skali regionalnej Polski i nawiązuje do położenia poszczególnych zlewni w krainach fizjograficznych i klimatycznych kraju. Podstawowe znaczenie mają w tym przypadku warunki termiczne i opadowe, decydujące m.in. o klimatycznym bilansie wodnym. Od klimatycznego bilansu wodnego zależy np. wielkość zasilania i odnawiania zasobów wód podziemnych, odpływ ze zlewni oraz życie świata roślinnego i zwierzęcego (Bac i in., 1993).

Warunki opadowo-termiczne, określone na podstawie średniej rocznej sumy opadów i średniej rocznej temperatury powietrza, są dla Stacji Bazowych zróżnicowane w nawiązaniu do położenia na obszarze Pol-

ski (ryc. 2), co wynika z danych meteorologicznych z lat 1994–2010, przekazywanych przez Stacje Bazowe do Centralnej Bazy Danych ZMŚP. Roczna suma opadów w Polsce północnej maleje z zachodu na wschód (Storkowo 730 mm, Puszcza Borecka 690 mm, Wigry 630 mm), co odzwierciedla rosnący stopień kontynentalizmu. Zmniejszanie się ilości opadów zachodzi również w transekcie południkowym, od Storkowa do Koniczynki i Kampinosu, gdzie w skali Stacji Bazowych opady są najniższe i wynoszą średnio rocznie około 540 mm. Dalej w kierunku południowym następuje wzrost opadów uwarunkowany położeniem stacji na obszarach górskich (Święty Krzyż 710 mm i Szymbark 880 mm). Czynnikiem regionalny jest również dobrze odzwierciedlony poprzez spadek średniej temperatury powietrza w Polsce północnej z zachodu na wschód (Storkowo – Puszcza Borecka – Wigry) od wartości $7,8^\circ\text{C}$ do $7,0^\circ\text{C}$.

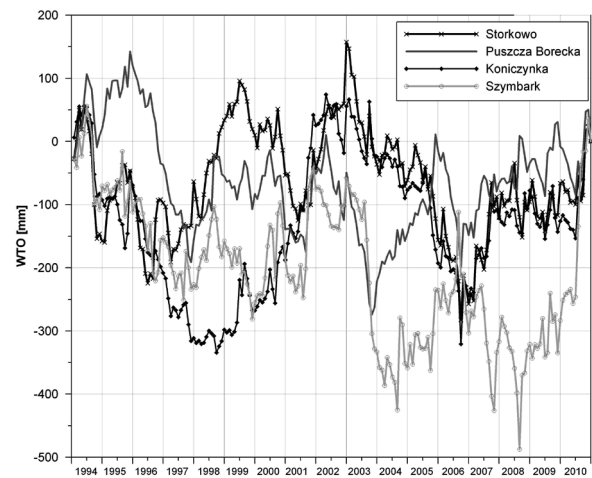


Ryc. 2. Średnie wieloletnie parametry pogodowe w Stacjach Bazowych ZMŚP: P – opad atmosferyczny, T – temperatura powietrza, P/T – stosunek opadu do temperatury Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż, Szymbark – dane z lat 1994–2010, Wigry – dane z lat 2002–2010.

Fig. 2. The average perennial weather parameters in IMNE Base Stations: P – precipitation, T – air temperature, P/T – relation of precipitation for air temperature Storkowo, Puszcza Borecka, Koniczynka, Kampinos, Święty Krzyż, Szymbark – data from the years 1994–2010, Wigry – data from the years 2002–2010.

Relacja opadów do temperatury powietrza w poszczególnych Stacjach Bazowych wskazuje na zjawisko, które niewątpliwie determinuje pod wieloma względami funkcjonowanie środowiska geograficznego monitorowanych zlewni. W przypadku Koniczynki i Kampinosu najwyższe temperatury powietrza przypadają na najniższe sumy opadów atmosferycznych (ryc. 2). Sprawia to, że klimatyczny bilans wodny dla tych geosystemów jest bardzo niekorzystny. Średnia wieloletnia wartość klimatycznego bilansu wodnego wynosi w Kampinosie około -140 mm (dla porównania w Szymbarku ponad $+100$ mm) (Bac i in., 1993). Wysokie parowanie terenowe spowodowane wysokimi temperaturami powietrza przy małych opadach prowadzi do zaniżania odpływów jednostkowych i przepływów w ciekach, jest przyczyną słabego wykształcenia i małej gęstości sieci rzecznej. Centralna część Polski, gdzie są położone te dwie Stacje Bazowe ma bardzo niski w skali kraju odpływ jednostkowy, poniżej $4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$, podczas gdy w Storkowie i w Szymbarku jego wartość wynosi ponad $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$, o czym informują dane zgromadzone przez IMGW w latach 1951–1970 (Kozłowski i in. 1994). Mała ilość wody stwarza problemy dla funkcjonowania biotycznej części środowiska oraz gospodarcze, szczególnie dla działalności rolniczej (np. występowania posuch glebowych w Koniczyńce). W Kampinosie niekorzystny klimatyczny bilans wodny wespół z warunkami litologicznymi (duży udział piasków) prowadzi do wykształcenia małej zdolności retencyjnej zlewni (stosunek Q_{\max} do Q_{\min} powyżej 2) (Kozłowski i in., 1994). W takiej sytuacji nawet okresowe zwiększenie opadów atmosferycznych nie prowadzi do odbudowy zasobów wodnych, a jedynie do szybkiego i krótkotrwałego wzrostu odpływu rzecznego. Pod względem relacji opadu do temperatury powietrza najkorzystniejsza wśród Stacji Bazowych sytuacja występuje na Świętym Krzyżu i w Szymbarku.

Bardzo ważne jest uwzględnienie przy ocenie stanu środowiska geograficznego dłuższych trendów opadowych. Wyjątkowo niekorzystne jest bowiem następstwo kolejnych lat z niedoborem wody opadowej, tak jak to miało miejsce np. w Kampinosie w latach 2002–2005, gdy według klasyfikacji Lorenc (1998) występowały tam lata skrajnie suche i bardzo suche (Raporty SB Kampinos za lata 2002–2005). Próba ujęcia tego typu zjawisk w kategoriach ilościowych jest zaproponowany wskaźnik tendencji opadowych (WTO). Przebieg wartości WTO dla Stacji Bazowych z lat 1994–2010 ujawnia szereg uwarunkowań lokalnych, niemniej wskazuje również na przyczyny ogólne natury regionalnej (ryc. 3).



Ryc. 3. Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) dla wybranych Stacji Bazowych ZMŚP

Fig. 3. The indicator of precipitation trends (WTO) for choose IMNE Base Stations

Najbardziej podobne przebiegi WTO występują w przypadku Storkowa i Puszczy Boreckiej, a częściowo również Stacji Bazowej w Koniczyńce. Prawdopodobnie położenie wymienionych Stacji Bazowych w północnej, młodoglacjalnej części Polski przyczynia się do zbliżonych tendencji w wartościach i przebiegu wskaźnika. Dla wymienionych stacji wskaźnik WTO charakteryzuje się dynamicznym przebiegiem o charakterze sinusoidalnym. Stwierdzić można występowanie zmienności o okresie 4–5 lat. Z niską wartością wskaźnika WTO można łączyć konkretne zjawiska przyrodnicze. W latach 1994, 2003, 2005 i 2006 w Storkowie występowały posuchy atmosferyczne. W roku 1997, a później w okresie 2005–2006 nastąpił zanik wody w licznych, płytkich i małych zbiornikach bezodpływowych (Major, 2009). W ostatnich latach nastąpiła regeneracja funkcji hydrologicznych tych zagłębień przy istotnym udziale odnowy zasobów wodnych z pokrywy śnieżnej podczas zim 2008/2009 i 2009/2010. O podobnym problemie zaniku wody w zagłębieniach bezodpływowych informowały raporty ze Stacji Bazowej Wigry w latach 1996–1997 (Krzysztofiak, 2006), co wymagało interwencji i podjęcia prac w celu ratowania populacji płazów w Wigierskim Parku Narodowym. Proponowany wskaźnik, jako narzędzie o charakterze ilościowym, jest bardziej „czuły” niż jakościowa klasyfikacja opadowa. Przebieg wartości WTO dla Koniczynki w latach 1999–2003 potwierdza, że dla odbudowy zasobności wodnej zlewni najważniejszy jest clustering kilku lat wilgotnych, a wówczas nawet wystąpienie pojedynczego roku szczególnie suchego jeszcze nie powoduje gwałtowne-

go spadku wartości WTO. Dopiero nałożenie się kolejnych lat z opadami normalnymi i lat suchych doprowadza do głębokich deficytów wody w geosystemie. Podobny przebieg jak w Polsce północnej ma przebieg WTO w Szymbarku. W tym przypadku zwraca uwagę głęboki deficyt wody w roku 2008, pomimo że poprzedziły go lata klasyfikowane jako normalne opadowo (2004–2007).

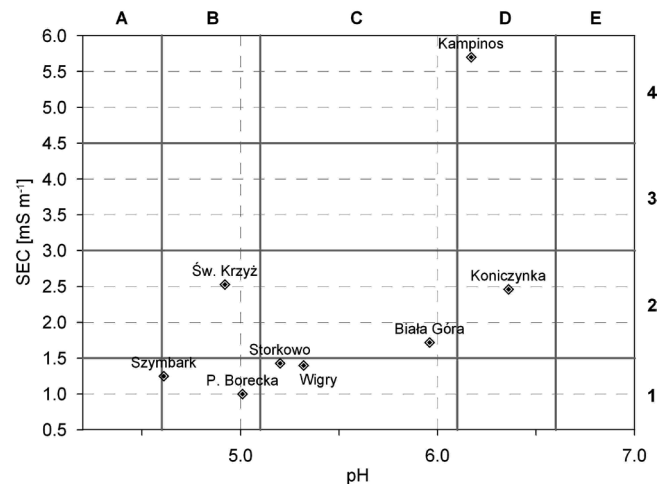
Przebieg WTO dla Stacji Bazowych (ryc. 3) świadczy, że w roku 2010 dalej postępowała odbudowa zasobów wodnych po deficytach z lat 2006–2008. Dane opadowe ze Stacji Bazowych potwierdzają duży udział pokrywy śnieżnej w ostatnich dwóch latach w odnawianiu zasobów wodnych. Stoi to w zgodzie z opinią hydrologów, że o zachowaniu retencji wodnej decydują opady półrocza zimowego (w tym bardzo istotne opady śniegu i woda pochodząca z jego topnienia). Opady półrocza letniego, chociaż we wszystkich Stacjach Bazowych przeważające ilościowo nad opadami w półroczu zimowym, są „tracone” z geosystemu wskutek dużej letniej ewapotranspiracji, a odpływ rzeczny o charakterze niżówkowym dokonuje się w półroczach ciepłych kosztem zasobów wód podziemnych.

4. Jakość wody w geosystemach jako wskaźnik stanu środowiska geograficznego

4.1. Wskaźniki jakości opadów atmosferycznych

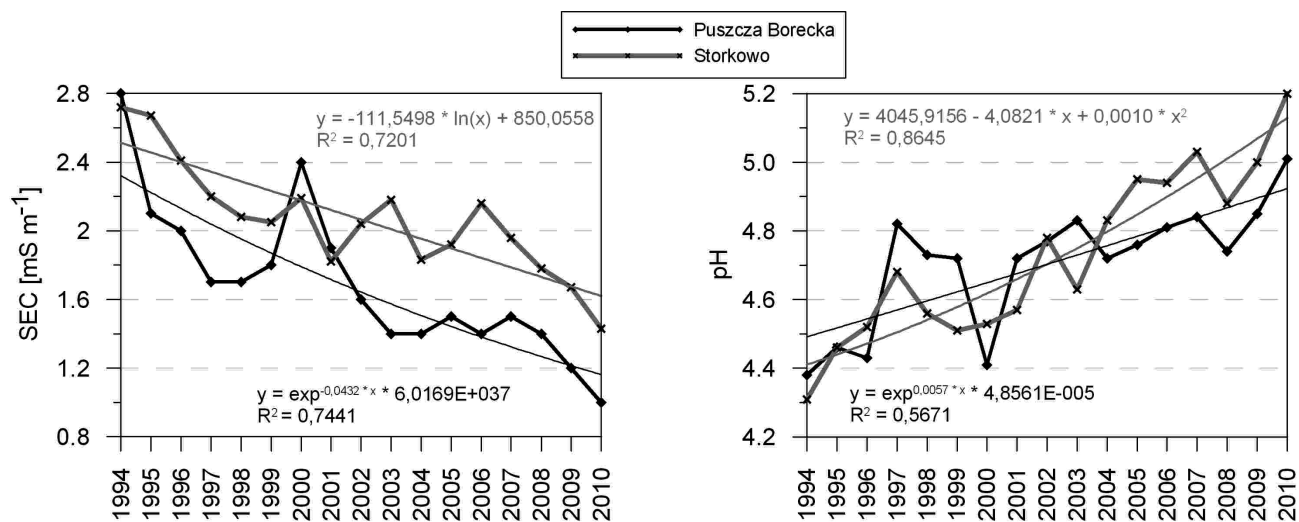
Opady atmosferyczne należą do wód naturalnych o zazwyczaj niskiej mineralizacji. Ich skład chemiczny odzwierciedla jakość powietrza atmosferycznego i jest

kształtowany pod wpływem zarówno czynników naturalnych, jak i zmiennej w czasie i przestrzeni emisji antropogenicznej. Wyraźne zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych wód opadowych badanych w poszczególnych Stacjach Bazowych ZMŚP jest związane ze zróżnicowanym oddziaływaniem czynników naturalnych i antropogenicznych.



Ryc. 4. Klasyfikacja pH/SEC opadów atmosferycznych w Stacjach Bazowych ZMŚP w roku hydrologicznym 2010. SEC: 1 – nieznaczna, 2 – lekko podwyższona, 3 – znacznie podwyższona, 4 – mocno podwyższona; pH: A – znacznie obniżone, B – lekko obniżone, C – normalne, D – lekko podwyższone, E – znacznie podwyższone

Fig. 4. The pH/SEC classification of precipitations in IMNE Base Stations in hydrological year 2010. SEC: 1 – insignificant, 2 – insignificantly upper, 3 – easily upper, 4 – considerably upper; pH: A – significantly lower, B – insignificantly lower, C – normal, D – insignificantly upper, E – easily upper



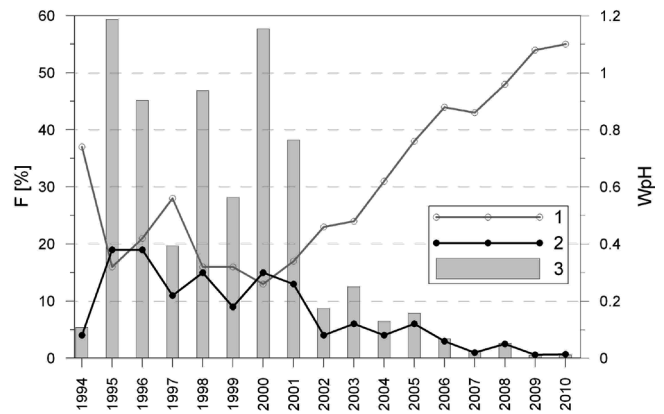
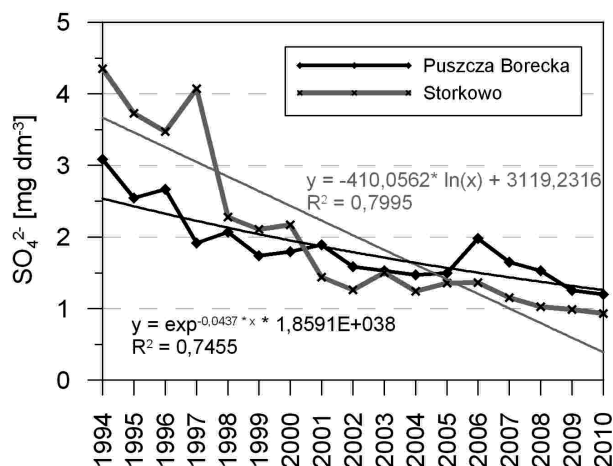
Ryc. 5. Zmiany przewodności elektrolitycznej (SEC) i pH wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP Puszczka Borecka nad Storkowo w latach hydrologicznych 1994–2010

Fig. 5. Changes of electrical conductivity (SEC) and pH of precipitations in IMNE Base Stations Puszczka Borecka nad Storkowo in hydrological years 1994–2010

Wieloletni przebieg zmienności przewodności elektrolitycznej wskazuje na korzystny trend obniżania się zawartości składników rozpuszczonych w wodach opadowych w większości Stacji Bazowych. W latach hydrologicznych 1994–2010 sumaryczna ilość składników rozpuszczonych w wodach opadowych w Stacji Puszcza Borecka i Storkowo spadała systematycznie, osiągając w roku hydrologicznym 2010 wartość od 2- do 3,5-krotnie niższą w stosunku do połowy lat dziewięćdziesiątych (ryc. 5). W przypadku Stacji Święty Krzyż tylko od roku 2000 przewodność elektrolityczna obniżyła się 4-krotnie. Znacznie mniej wyraźne trendy spadkowe przewodności elektrolitycznej występują w przypadku Stacji Szymbark i Kampinos. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że w większości Stacji Bazowych w wieloleciu 1994–2010 zaznacza się wyraźny, systematyczny wzrost pH wód opadowych.

Zmniejszanie zakwaszenia wód opadowych (jak i zawartości składników rozpuszczonych) jest przejawem polepszającej się jakości powietrza, dzięki czemu coraz rzadziej pojawiają się opady o silnym zakwaszeniu wyrażonym odczynem pH poniżej wartości 4,1. Poprawę jakości wód opadowych w kolejnych latach dobrze oddaje wskaźnik pH opadów atmosferycznych (WpH). Jego wartość w Storkowie w latach 1994–2010 systematycznie obniża się, od wartości powyżej 1 jeszcze w roku 2000 do 0,01 w roku 2009 i 2010 (ryc. 6).

Przyczyny zmniejszenia kwasowości wód opadowych wiążą się głównie z ograniczaniem emisji do atmosfery dwutlenku siarki – gazu pochodzącego w największym stopniu ze spalania paliw kopalnych

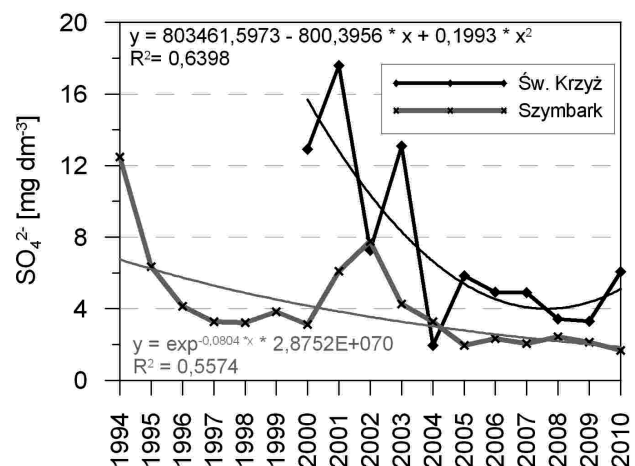


Ryc. 6. Udział opadów (F) o pH normalnym (1) i pH silnie obniżonym (2) oraz wskaźnik pH opadów WpH (3) w latach hydrologicznych 1994–2010 w Storkowie

Fig. 6. Participation of precipitations (F) about normal pH (1) and factorial lowered pH (2) and pH indicator WpH (3) in hydrological years 1994–2010 in IMNE Storkowo Base Station

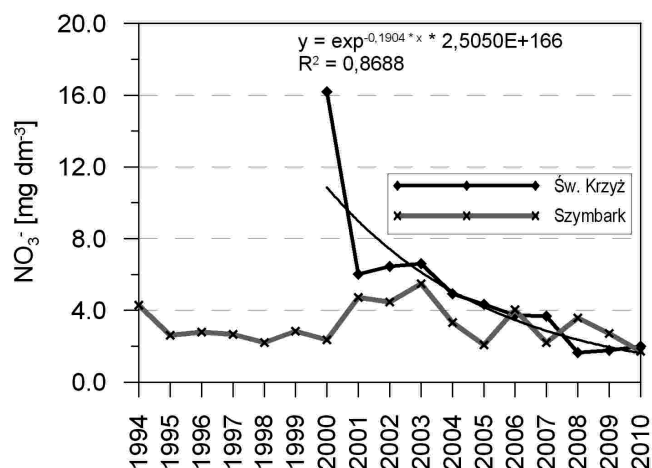
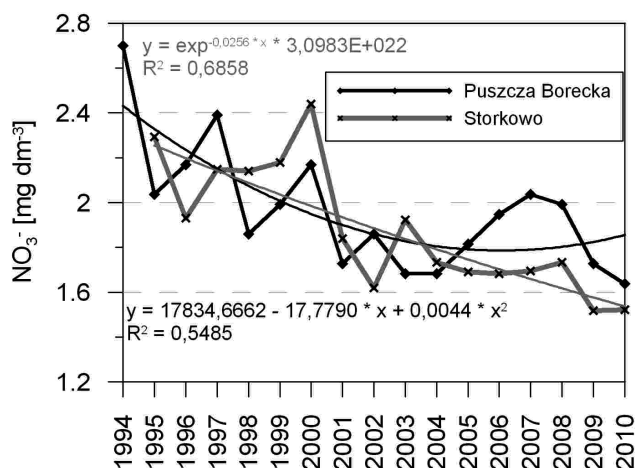
i uważanego za główny czynnik kwasotwórczy. Zmniejszanie emisji SO_2 notuje się w krajach europejskich, w tym również w Polsce (m.in. Stan środowiska w Polsce, 1998). Opracowania GUS (Ochrona Środowiska 2005; 2010) wskazują na 2,5-krotny spadek emisji SO_2 w Polsce w latach 1995–2008. Malejąca ilość SO_2 w atmosferze przekłada się nie tylko na wzrost pH opadów atmosferycznych, ale również na spadek zawartości siarczanów w wodach opadowych, co daje się zaobserwować w wynikach badań niektórych Stacji Bazowych ZMŚP (ryc. 7).

Drugim czynnikiem wywołującym zakwaszenie wód



Ryc. 7. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach opadowych w wybranych Stacjach Bazowych ZMŚP w latach hydrologicznych 1994–2010

Fig. 7. Changes of concentrating of sulphate ions in precipitations for choose IMNE Base Stations in hydrological years 1994–2010



Ryc. 8. Zmiany stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych w wybranych Stacjach Bazowych ZMŚP w latach hydrologicznych 1994–2010

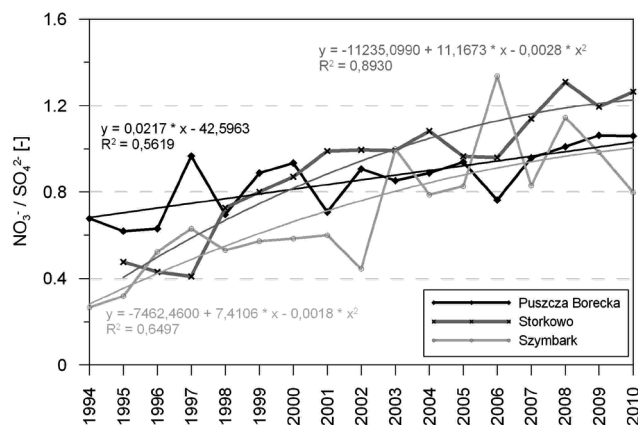
Fig. 8. Changes of concentrating of nitrate ions in precipitations for choose IMNE Base Stations in hydrological years 1994–2010

opadowych są tlenki azotu, pochodzące głównie ze spalania paliw płynnych, w związku z czym zagrożeniem dla jakości opadów atmosferycznych wydaje się rozwój motoryzacji i nasilenie transportu w Polsce. Tymczasem według GUS (Ochrona Środowiska 2005; 2008) emisja NO_x w Polsce w ostatnich latach spadła o 30% w stosunku do połowy lat dziewięćdziesiątych. Odzwierciedleniem ograniczenia emisji tlenków azotu są malejące stężenia jonów azotanowych w wodach opadowych, co obserwuje się w niektórych Stacjach Bazowych ZMŚP (ryc. 8).

Powszechnie w literaturze uważa się, że za kwasowość opadów atmosferycznych w około 60–70% odpowiada dwutlenek siarki, zaś tlenki azotu za pozostałe 30–40% (Isidorow, Jaroszyńska, 1998; Trzeciak, 1995). Siedemnastoletnie obserwacje chemizmu wód opadowych w Stacjach Bazowych ZMŚP wskazują na zachodzące zmiany w przyczynach zakwaszenia wód opadowych, które obrazuje wskaźnik udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu opadów (WCK), wyrażony stosunkiem ekwiwalentowych stężeń jonów azotanowych do siarczanowych w opadach (ryc. 9).

4.2. Stężenia jonów siarczanowych i azotanowych jako wskaźniki jakości wód podziemnych i powierzchniowych

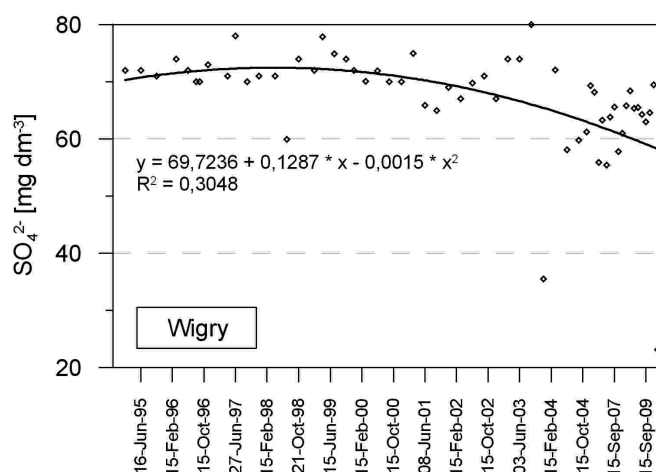
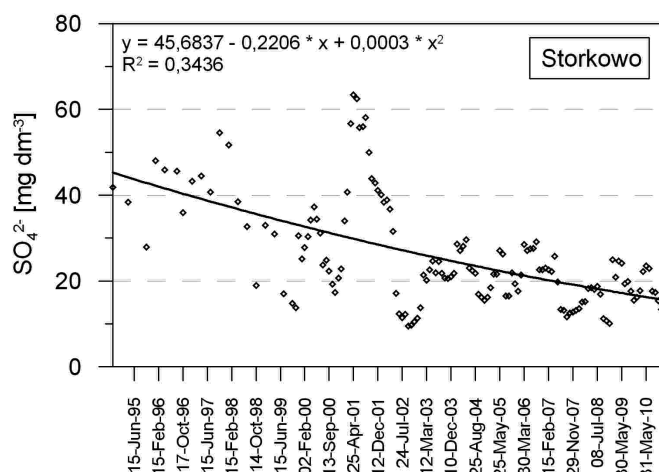
Jony siarczanowe w roztworach glebowych oraz w wodach podziemnych pochodzą z depozycji tego pierwiastka z atmosfery oraz z procesów geochemicznych zachodzących w glebie. Siarczany mają mniejsze znaczenie niż związki azotu w procesach biosyntezy, stąd ich wysokie stężenia notowane w profilu glebo-



Ryc. 9. Zmiany wskaźnika udziału czynników kwasogennych w zakwaszaniu wód opadowych w wybranych Stacjach Bazowych ZMŚP w latach hydrologicznych 1994–2010

Fig. 9. Changes of indicators of participation of acidic factors in acidulating precipitations in choose IMNE Base Stations in hydrological years 1994–2010

wym niezależnie od głębokości. W części Stacji Bazowych dane wieloletnie, potwierdzone kolejnymi wartościami z roku 2010, wskazują na zmniejszanie się ilości jonów siarczanowych w wodach podziemnych. Prawdopodobnie przyczyną tego zjawiska jest zmniejszanie się dwutlenku siarki w powietrzu i tym samym – depozycji atmosferycznej jonów siarczanowych. Wyraźne zmniejszanie się stężeń siarczanów stwierdzono w wodach podziemnych w Storkowie oraz w Wigrach (ryc. 10). W pozostałych stacjach wieloletnie trendy spadkowe siarczanów w wodach podziemnych są dotychczas słabo widoczne.



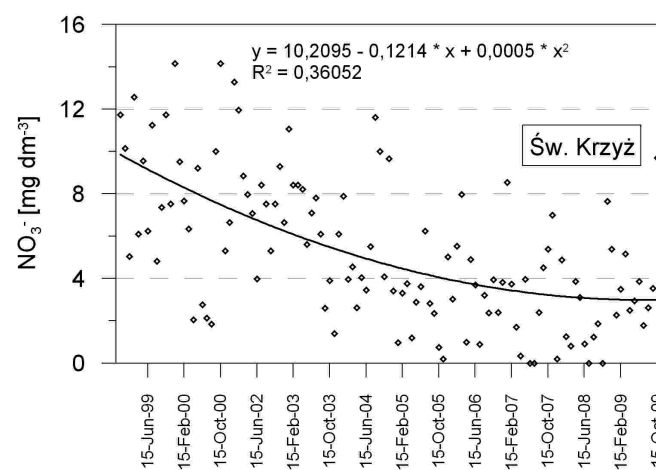
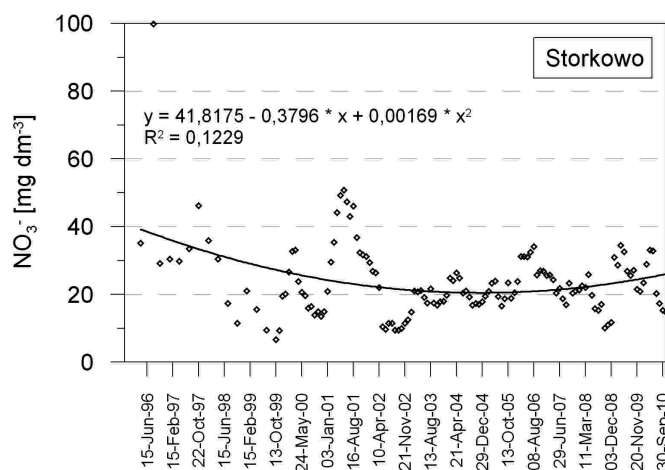
Ryc. 10. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach podziemnych w wybranych Stacjach Bazowych ZMŚP w latach hydrologicznych 1994–2010

Fig. 10. Changes of concentrating of sulphate ions in ground waters for choose IMNE Base Stations in hydrological years 1994–2010

Dostawa atmosferyczna jest ważnym źródłem ładunku nieorganicznych form azotu docierającego do wód podziemnych. Większa część tego składnika jest wykorzystywana przez roślinność w procesach biologicznych (zwłaszcza na powierzchniach leśnych). Bilans ładunków docierających z opadem atmosferycznym do koron drzew, opadu śródkapowego, spływu po pniach i odpływu wód glebowych/podziemnych wskazuje, że zapotrzebowanie na azot jest większe niż depozycja atmosferyczna. Można zatem uznać, że związki azotu na obszarach leśnych nie powodują zakwaszania gleby, są one bowiem wykorzystywane przez rośliny w procesie biosyntezy (Kruszyk, 2007). Na obszarach rolniczych głównym źródłem dostawy jonów azotanowych do wód

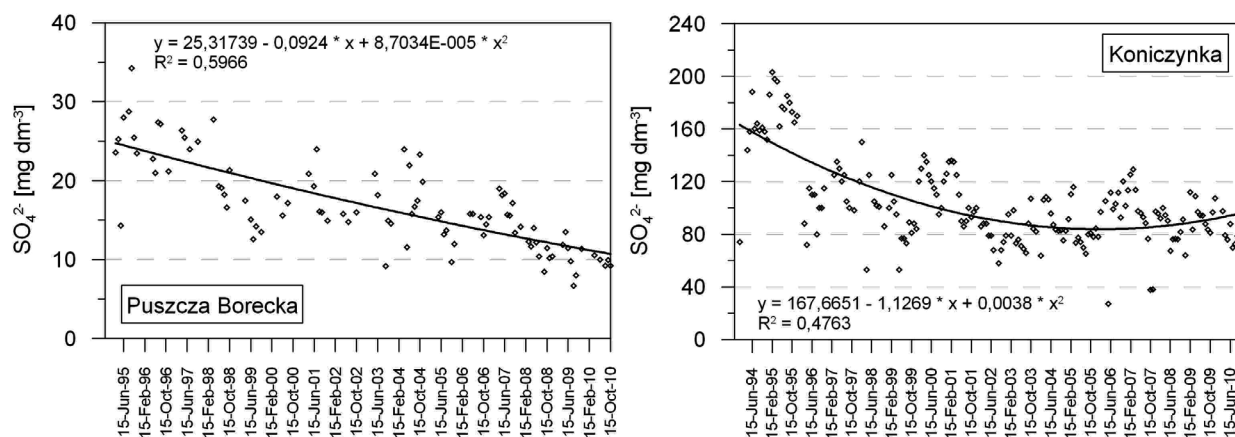
podziemnych i powierzchniowych pozostaje nawożenie. W niektórych Stacjach Bazowych dane wieloletnie chemizmu wód podziemnych wskazują na trend spadkowy stężeń jonów azotanowych, co częściowo może być konsekwencją zmniejszenia mokrej depozycji atmosferycznej tego jonu, ale również coraz częściej stosowanego racjonalnego nawożenia mineralnego i organicznego. Tendencję do obniżania stężeń azotu w wodach podziemnych można zaobserwować dla źródeł w Świętym Krzyżu oraz dla wód podziemnych w zlewni Chwalimskiego Potoku w Storkowie (ryc. 11). Jednak w większości Stacji Bazowych dotychczas trendy takie nie występują.

Obserwowane obniżenie ilości związków siarki w powietrzu i opadach atmosferycznych winno dać efek-



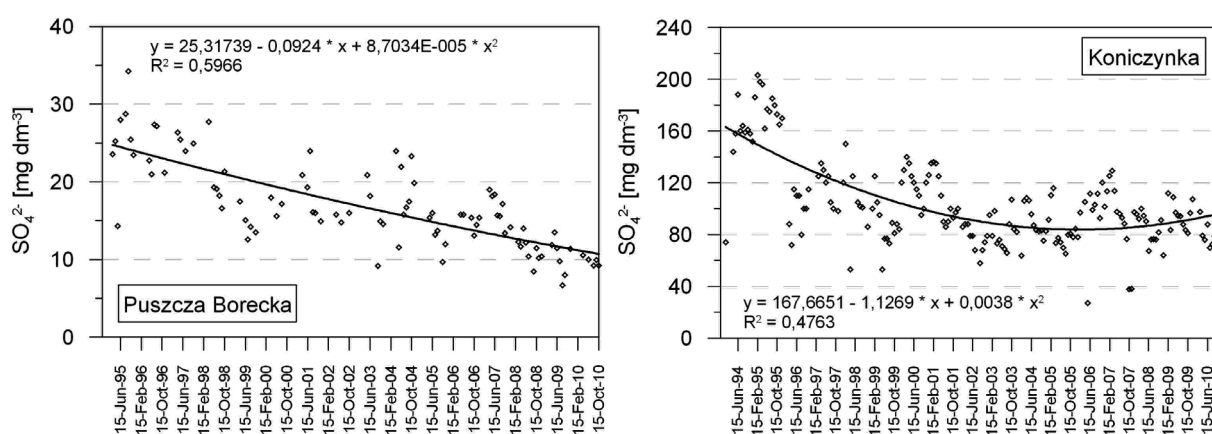
Ryc. 11. Zmiany stężenia jonów azotanowych w wodach podziemnych w wybranych Stacjach Bazowych ZMŚP w latach hydrologicznych 1994–2010

Fig. 11. Changes of concentrating of nitrate ions in ground waters for choose IMNE Base Stations in hydrological years 1994–2010



Ryc. 12. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach rzecznych w wybranych Stacjach Bazowych ZMŚP w latach hydrologicznych 1994–2010

Fig. 12. Changes of concentrating of sulphate ions in river waters for choose IMNE Base Stations in hydrological years 1994–2010



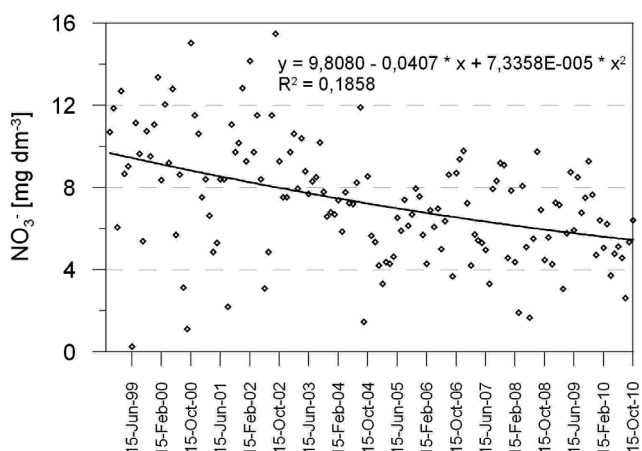
Ryc. 13. Zmiany stężenia jonów siarczanowych w wodach rzecznych w Stacji Bazowej ZMŚP Storkowo w latach hydrologicznych 1994–2010

Fig. 13. Changes of concentrating of sulphate ions in river waters in IMNE Storkowo Base Stations in hydrological years 1994–2010

ty w mniejszych stężeniach siarczanów w ciekach, o ile nie wzrosła dostawa z innych źródeł pochodzenia antropogenicznego (nawożenia, ścieki). Tego typu zmiany zachodzą na przestrzeni wielolecia. Pierwsze efekty poprawy jakości powietrza atmosferycznego i opadów są już widoczne w obniżaniu się od roku 1994 (1995) stężeń jonów siarczanowych w wodach powierzchniowych w Stacjach Bazowych Puszczka Borecka, Koniczynka oraz Storkowo (ryc. 12, 13). W przypadku Stacji Storkowo w wieloleciu 1994–2010 spadek stężenia jonów siarczanowych w wodach odpływających z małej zlewni Młyńskiego Potoku, stanowiącej podsystem zlewni górnej Parsęty, jest większy (ograniczenie stężeń o 45%) niż spadek w wodach odpływających z całej zlewni górnej Parsęty (ograniczenie stężeń o 36%) (ryc. 12), co może być związane z wielkością i bezwładnością geokośmosystemu. Podobnie jak w Puszczy Boreckiej oraz w Storkowie wyraźną ten-

dencję do spadku stężeń siarki siarczanowej obserwuje się w wodach Strugi Toruńskiej w Koniczynie (ryc. 12), choć rejestrowane tam wartości są około 4-krotnie większe niż w wymienionych wcześniej stacjach. W Koniczynie wyraźny spadek siarczanów zachodził w latach 1994–2003 – od około 160 do około 80 mg•dm⁻³ i obecnie utrzymuje się na podobnym poziomie.

W przypadku związków azotu ich odprowadzanie ze zlewni w wodach powierzchniowych nie podlega już tak wyraźnym zmianom czasowym jak w przypadku jonów siarczanowych. Niewielkie spadki stężeń jonów azotanowych obserwowano na przestrzeni wielolecia w Stacji Bazowej Święty Krzyż (ryc. 14). W większości stacji stężenia azotanów w wieloleciu są stałe (np. w Wigrach) lub mają nieznaczne tendencje wzrostowe (np. w Koniczynie).

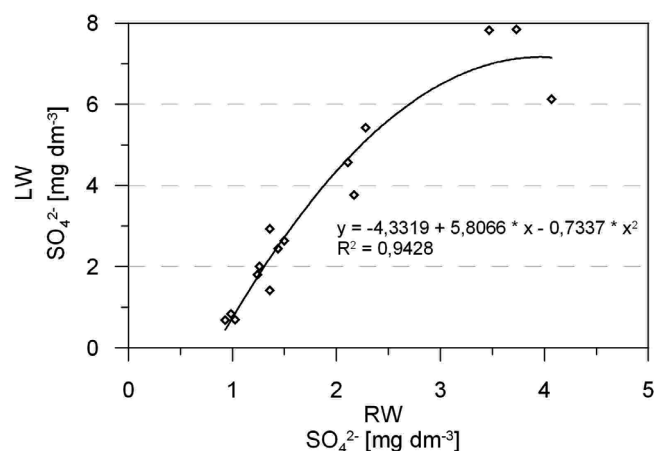


Ryc. 14. Zmiany stężenia jonów azotanowych w wodach rzecznych w Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż w latach hydrologicznych 1998–2010

Fig. 14. Changes of concentrating of nitrate ions in river waters in IMNE Święty Krzyż Base Stations in hydrological years 1998–2010

Pozytywne zmiany chemizmu opadów atmosferycznych, a zwłaszcza zmniejszenie ich zakwaszenia i obciążenia nutrientami, mają szczególne znaczenie dla funkcjonowania zbiorników wodnych, głównie tych o przewadze zasilania opadowego i niewielkich właściwościach buforujących zlewni, wynikających ze składu osadów podłoża. Szczególnie narażone na zakwaszenie jest bezodpływowe i pozbawione dopływów jezioro Czarne w zlewni górnej Parsęty. Jego wody, zasilane głównie opadami, wykazują kwaśny odczyn. Według szacunków Szpikowskiej (2011), opady atmosferyczne o wartościach pH charakterystycznych dla połowy lat dziewięćdziesiątych w zlewni górnej Parsęty (pH = 4,5) doprowadziłyby do wyczerpania zasadowości wód jeziora Czarne w ciągu 2 dekad. Obecnie zakwaszenie opadów atmosferycznych klasyfikowane jako „normalne” (w roku 2010 pH = 5,2) nie powinno wyczerpać zasadowości wód jeziornych przez następnych 70–80 lat.

Wpływ jakości opadów atmosferycznych na chemizm jeziora Czarne obrazuje współwystępowanie spadkowego trendu stężeń siarczanów w wodach opadowych i jeziornych (ryc. 15), co odpowiada ogólnemu trendowi redukcji stężeń siarczanów w opadach w Europie (Armbruster, Feger, 2004) i Azji (Ishikawa i in., 1998) oraz trendowi zmian chemizmu jezior (m.in. Rzychoń, Worsztynowicz, 2005).



Ryc. 15. Relacje stężenia jonów siarczanowych w wodach opadowych (RW) i wodach jeziora Czarne (zlewnia Parsęty) (LW) w latach 1995–2010

Fig. 15. Rates of sulphate ions concentration in precipitations (RW) and Black Lake water (Parsęta catchemnt) (LW) in years 1995–2010

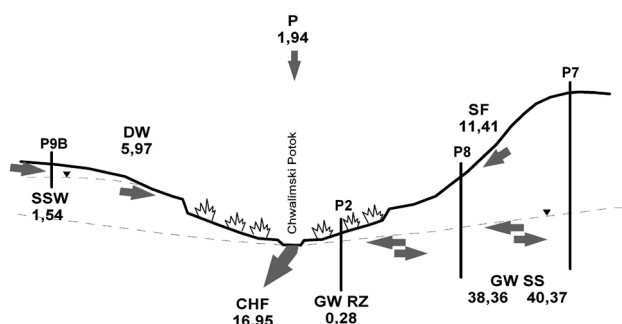
5. Wskaźniki eutrofizacji wód powierzchniowych

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 roku, dotyczące kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenia związkami azotu (DzU z dnia 31 grudnia 2002 r.), podaje wartości graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji różnych typów wód. Na tej podstawie można wskazać, że przekroczenie wskaźnika fosforu ogólnego ($0,25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) występuje w wodach Kanału Olszowieckiego w Kampinosie. W przypadku jonów azotanowych stężenia dopuszczalne ($10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) są przekroczone w Bystrzance w Szymbarku oraz w Strudze Toruńskiej. Eutrofizacja wód Strugi Toruńskiej jest efektem dostawy składników nawozowych z obszarów rolniczych. W ostatnich latach w raportach ze Stacji w Koniczynie wskazuje się na trend wzrostowy stężeń biogenów w wodach rzecznych.

W przypadku wód jeziornych za wskaźnik poziomu eutrofizacji normy uznają stężenia fosforu ogólnego. Ze zbiorników jeziornych monitorowanych w ramach ZMŚP dopuszczalny poziom fosforu ($0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) występuje jedynie w jeziorze Czarnym w zlewni górnej Parsęty.

O wielkości ładunku biogenów w transporcie fluwialnym decydują między innymi procesy akumulacji tych związków w biomase oraz procesy biogeochemiczne zachodzące w strefie przykorytowej. Przykładem zmian stężeń jonów azotanowych w wodach krążących w zlewni są wyniki uzyskane przez Michalską (2001) w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta). Stwierdzono, że niewielkie są stężenia jonów

azotanowych w wodach opadowych i płytko krążących wodach zaskórnych oraz drenarskich. Z kolei dużą zawartością azotanów charakteryzują się wody podziemne pierwszego poziomu wodonośnego w obrębie systemu stokowego. Ważną rolę pełni strefa nadrzeczna, w obrębie której w warunkach beztlenowych i przy dostępności materii organicznej dochodzi z udziałem mikroorganizmów do denitryfikacji jonów azotanowych, prowadzącej do usunięcia azotu z obiegu. Zatem ochronie wód przed eutrofizacją sprzyjać będzie zachowanie oraz odbudowywanie podmokłych stref nadrzecznych, szczególnie na obszarach użytkowanych rolniczo. Natomiast prace melioracyjne połączone z pogłębianiem i prostowaniem koryt cieków niszczą naturalne strefy ochronne sprzyjające ograniczaniu ładunków azotanów docierających do koryta rzecznej.



Ryc. 16. Stężenia jonów azotanowych (w mg dm⁻³) na poszczególnych etapach obiegu wody w zlewni Chwalimskiego Potoku (zlewnia górnej Parsęty): P – opad atmosferyczny, SF – spływ śródglebowy, DW – wody drenarskie, SSW – wody zaskórne, GW RZ – wody podziemne strefy nadrzecznej, GW SS – wody podziemne systemu stokowego, CHF – odpływ korytowy (Michalska, 2001)

Fig. 16. Concentration of nitrate ions (in mg dm⁻³) at different stages of the circulation of water in the Chwalimski Potok catchment (the upper Parsęta catchment). P – precipitation, SF – subsurface flow, DW – drainage waters, SSW – subsoil waters, GW RZ – ground waters of riparian zone, GW SS – ground waters of slope system (Michalska, 2001)

6. Podsumowanie – kompleksowa ocena stanu geosystemów Polski w roku 2010 na tle lat 1994–2009 na podstawie wybranych geoskaźników

W roku hydrologicznym 2010 program ZMŚP realizowany był w ośmiu Stacjach Bazowych reprezentujących różne strefy krajobrazowe kraju, poddane w różnym stopniu przemianom naturalnym i presjom antropogenicznym. Sześć spośród zlewni badanych w programie ZMŚP (poza Koniczynką i Szymbarkiem) leży w granicach obszarów specjalnej ochrony siedlisk

Natura 2000. Wyniki monitoringu, wskazujące na dobre i poprawiające się wskaźniki stanu środowiska, są ważne również dla oceny stanu siedlisk i ewentualnego stwierdzenia pojawiających się zagrożeń.

Rok 2010, podobnie jak poprzedni, był okresem korzystnym dla dostawy wody do środowiska. Warunki takie wystąpiły po przeciętnych lub większych od średnich opadach w większości stacji w latach 2007–2009, co w konsekwencji doprowadziło do odbudowy retencji wodnej zachwianej niedoborem opadów w latach 2002–2006.

W zakwaszaniu opadów atmosferycznych zwiększa się udział obecnych w atmosferze tlenków azotu przy malejącej roli dwutlenku siarki. Tendencję tę dobrze opisuje wskaźnik udziału czynników kwasogennych, który dla Stacji Bazowych Storkowo, Puszcza Borecka i Szymbark zwiększa swoją wartość od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku.

Wartości wskaźnika pH opadów atmosferycznych maleją, co oznacza coraz większy udział w opadach atmosferycznych deszczy o odczynie normalnym w stosunku do udziału opadów o odczynie znacznie obniżonym. Dla Stacji Bazowej w Storkowie trwała spadkowa tendencja do obniżania się wartości wskaźnika pH opadów atmosferycznych trwa od roku 2000, potwierdzając ewidentną poprawę jakości wód opadowych.

Jednym z realnych zagrożeń dla ekosystemów rzecznych badanych w Stacjach ZMŚP są zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego i bytowego. Dotyczy to zwłaszcza Stacji w Koniczynce, Wigrach i Szymbarku. O wielkości ładunku biogenów w transporcie fluwialnym decydują również procesy akumulacji tych związków w biomacie oraz procesy biogeochemiczne zachodzące w strefie nadrzecznej. Wyniki uzyskiwane w ramach ZMŚP wskazują, że wody w większości badanych rzek spełniają kryteria wyznaczone w rozporządzeniu o wodach wrażliwych na zanieczyszczenia związkami azotu dla różnych typów wód. Zagrożenia pojawiają się w przypadku zlewni intensywnie użytkowanych rolniczo (Koniczynka – Struga Toruńska) oraz stosunkowo gęsto zaludnionych (Szymbark – Bystrzanka).

Problemem pozostają związki azotu w wodach podziemnych na obszarach rolniczych, które pozostały po okresie intensywnego nawożenia, a których usunięcie z geosystemu może być rozciągnięte na wiele lat. Słabo zaznaczające się tendencje spadku stężeń związków azotu w wodach podziemnych i powierzchniowych mogą oznaczać, że potencjalnie stanowią one zagrożenie eutrofizacją wód w badanych geosystemach. Należy zatem dążyć, aby zachowywane były strefy nadrzeczne, gdzie zachodzą naturalne procesy redukcji nutrientów.

Kilkunastoletnie badania wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w geoeosystemach zlewni rzecznych i jeziornych prowadzone w ramach programu ZMŚP ukazują współwystępowanie tendencji spadkowej stężeń jonów siarczanowych. Mając na uwadze związek pomiędzy poszczególnymi podsystemami, można wskazać dla zlewni badawczych ZMŚP na następujący ciąg przyczynowo-skutkowy:

- ograniczenie emisji SO₂ do atmosfery,
- spadek stężeń siarczanów w opadach atmosferycznych,
- zmniejszenie depozycji atmosferycznej tych jonów,
- obniżanie dostawy siarczanów do wód podziemnych,
- w efekcie – pojawianie się coraz niższych stężeń siarczanów w wodach powierzchniowych.

Monitoring funkcjonowania środowiska geograficznego różnych geoeosystemów Polski, reprezentowanych przez Stacje Bazowe ZMŚP, obejmujący rozpoznanie struktury wewnętrznej geoeosystemów, ilości i jakości wody na kolejnych etapach obiegu, w dłuższym czasie pozwala na uchwycenie zarówno mechanizmów kształtowania się chemizmu wód, jak i trendów zmian. Rozpoznane mechanizmy i trendy związane są zarówno z naturalnymi warunkami środowiska geograficznego, jak i uwarunkowaniami antropogenicznymi. Stwierdzone prawidłowości mają charakter ponadregionalny.

Należy podkreślić, że przedstawione tendencje przemian środowiska geograficznego monitorowanych geoeosystemów nie mają charakteru stałego, a określają skalę przemian wybranych krajobrazów umiarkowanej strefy klimatycznej w okresie 17 lat.

Przedstawione wyniki badań stanowią propozycję metodyczną opracowania ilościowego obserwowanych przemian krajobrazowych na podstawie wieloletnich serii obserwacyjnych uzyskanych w programie ZMŚP. Otrzymane wyniki mają nie tylko znaczenie teoretyczne, ale mogą być także przydatne w studiach planistyczno-decyzyjnych na różnych poziomach zarządzania środowiskiem.

7. Literatura

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

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

Bochenek W., 2006: *Stacja Bazowa Szymbark*. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.), Stan, przemiany i funkcjonowanie geoeosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 261–294.

Degórska A., Śnieżek T., 1993: *Wskaźniki jakości powietrza i opadów atmosferycznych dla potrzeb monitoringu zintegrowanego*. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w Polsce. Wybrane problemy. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 28–40.

Gil E., Bochenek W., 1998: *Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Symbarku za lata hydrologiczne 1994–1997*. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoeosystemów Polski w latach 1994–1997. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 183–221.

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

Isidorow W., Jaroszyńska J. 1998: *Chemiczne problemy ekologii*. Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.

Jansen W., Block A., Knaack J. 1988: *Kwaśne deszcze. Historia, powstawanie, skutki*. Aura 4.

Józwiak M., Kozłowski R., Wróblewski H., 2006: *Stacja Bazowa Święty Krzyż*. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.), Stan, przemiany i funkcjonowanie geoeosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 215–258.

Kejna M., 2006: *Stacja Bazowa Konieczynka*. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.), Stan, przemiany i funkcjonowanie geoeosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 139–172.

Kostrzewski A., (1993): *Geoeosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna*. W: A. Kostrzewski (red.), Geoeosystem obszarów nizinnych. Polska Akademia Nauk, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław: 11–17.

- Kostrzewski A., 1995:** *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia i zadania*. W: A. Kostrzewski (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 7–22.
- Kostrzewski A., 1998:** *Georóżnorodność rzeźby jako przedmiot badań geomorfologii*. W: A. Pękala (red.). *Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce. VI Zjazd Geomorfologów Polskich, UMCS, Lublin*: 11–16.
- Kostrzewski A., Szpikowski J., Szpikowska G., Domańska M., Kruszyk R., Tylkowski J., 2007:** *Ocena stanu środowiska geograficznego zlewni górnej Parsęty na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 1994–2006*. W: A. Kostrzewski, A. Andrzejewska (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska przyrodniczego a zadania ochrony Obszarów Natura 2000*. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 161–174.
- Kostrzewski, A., Mazurek, M., Stach, A., 1995:** *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań*. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
- Kozłowski S., (red), 1994:** *Atlas zasobów, walorów i zagrożeń środowiska geograficznego Polski*. PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Warszawa.
- Kruszyk R., 2007:** *Stan geosystemów Polski w roku 2005*. W: A. Kostrzewski, A. Andrzejewska (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska przyrodniczego a zadania ochrony Obszarów Natura 2000*. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 19–32.
- Krzysztofiał L., 2006:** *Stacja Bazowa Wigry*. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.). *Stan, przemiany i funkcjonowanie geosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 59–92.
- Lenartowicz M., Andrzejewska A., Ferchim M., Owadowska E., Wierzbicki A., 2006:** *Stacja Bazowa Pożary*. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.). *Stan, przemiany i funkcjonowanie geosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 175–212.
- Lorenc H., 1998:** *Ocena stopnia realizacji programu „Obserwacje meteorologiczne i badania klimatyczne w systemie zintegrowanego monitoringu środowiska” oraz synteza uzyskanych wyników badań za okres 1994–1997*. W: A. Kostrzewski (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 113–119.
- Major M., 2009:** *Charakter i funkcjonowanie zagłębień bezodpływowych w krajobrazie strefy młodoglacjalnej (Pomorze Zachodnie)*. Wyd. PTPN, Wydz. Mat.-Przyr., Prace Kom. Geograf-Geolog., t. 40, Poznań.
- Michalska G., 2001:** *Dostawa atmosferyczna, krążenie i odpływ nutrientów ze zlewni rolniczej (Chwalimski Potok, górna Parsęta)*. W: M. Józwiak, A. Kowalkowski (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w Polsce. Funkcjonowanie i Monitoring Geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza*, Bibl. Monit. Środ.: 373–386.
- Ochrona Środowiska, 2005.** GUS, Warszawa.
- Ochrona Środowiska, 2010.** GUS, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2002.** W sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych. DzU z dnia 31 grudnia 2002.
- Rzychoń D., Worsztynowicz A., 2005:** *Zmiany składu chemicznego wód jezior tatrzańskich spowodowane zmieniającym się charakterem depozycji z powietrza*. W: A. Kostrzewski, R. Kolander (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji*, Bibl. Monit. Środ.: 513–522.
- Śnieżek T., Degórka A., Prządka Z., 2006:** *Stacja Bazowa Puszcza Borecka*. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.). *Stan, przemiany i funkcjonowanie geosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 11–56.
- Stan Środowiska w Polsce – raport PIOŚ, 1998:** Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
- Szpikowska G., 2004:** *Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodoglacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta)*. W: M. Kejna, J. Uscka (red.). *ZMŚP, Funkcjonowanie i monitoring geosystemów w warunkach nara-*

stającej antropopresji. *Bibl. Monit. Środ.*: 167–176.

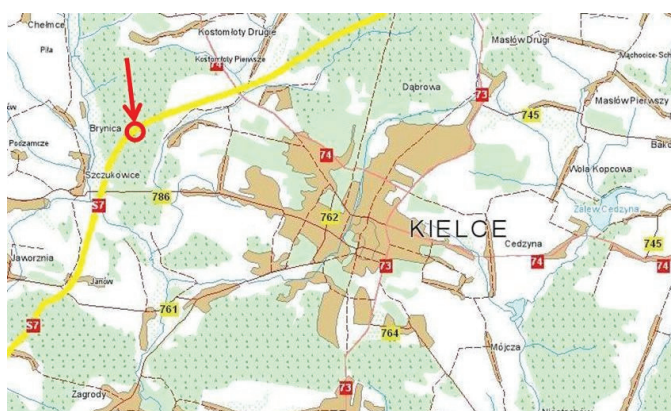
- Szpikowska G., 2011:** *Uwarunkowania i zmienność chemizmu wód opadowych, podziemnych i powierzchniowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (górną Parsętą)*. W: A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.). Funkcjonowanie geoeosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji, w druku.
- Szpikowski J., Domańska M., Kruszyk R., Szpikowska G., Tylkowski J., 2006:** *Stacja Bazowa Storkowo*. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.). Stan, przemiany i funkcjonowanie geoeosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa: 95–136.
- Trzeciak A., 1995:** *Wstęp do chemii nieorganicznej środowiska*. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Wierzbicki A., 1998:** *Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Kampinoskiego Parku Narodowego w Pożarach za lata hydrologiczne 1994–1997*. W: A. Kostrzewski (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoeosystemów Polski w latach 1994–1997. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa: 161–181.
- Wójcik G., (red.), 1998:** *Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Konieczynie k. Torunia za lata hydrologiczne 1994–1997*. W: A. Kostrzewski (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoeosystemów Polski w latach 1994–1997. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa: 123–160.
- Żarska B., Degórska A., Prządka Z., Śnieżek T., Smoleński A., Cydzik J., 1998:** *Reprezentatywność środowiska przyrodniczego obszaru zlewni Jeziora Łękuk i Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego „Puszcza Borecka”*. W: A. Kostrzewski (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoeosystemów Polski. IX Sympozjum ZMŚP, *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa: 67–74.
- Zwoźniński Z., 1998:** *Geoindykatory w badaniach współczesnej dynamiki geoeosystemów*. W: A. Kostrzewski (red.). Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego, Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoeosystemów Polski. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa: 163–167.

GEOECOSYSTEMS POLISH STATE
– AN ASSESSMENT BASED ON SELECTED
GEOINDICATORS IN THE INTEGRATED
MONITORING OF THE NATURAL
ENVIRONMENT PROGRAMME

Summary

Assessment of current status, trends, threats and protection of the geographical environment is the primary purpose of research carried out since 1994 under the Integrated Monitoring of the Natural Environment. Quantitative and qualitative geoindicators, compiled on the basis of stockpiled IMNE database, allow for a fuller and more comprehensive assessment of the Polish geoeosystems. In the hydrological year 2010 the IMNE research program was conducted in eight Base Stations representing different landscape zones Polish, subjected to varying degrees of changes of natural and anthropogenic pressures. The year 2010, like the previous one, was a favorable period for delivery of water to the environment, which consequently led to the reconstruction of disturbed water retention deficient rainfall in 2002–2006. Applied geoindicators confirm a number of significant changes geoeosystems improvement: reducing pollution and increasing the pH in precipitation and a decrease in sulphate concentrations in rain waters, groundwater and surface water. Present in the atmosphere nitrogen oxides increase their participation in the acidification of precipitation by decreasing the role of sulfur dioxide. Still remain the problem of nitrogen compounds in groundwater in agricultural areas, which remained after the period of intensive fertilization, and whose removal from geoeosystem may be extended for many years. Weak trends indicating decrease of nitrogen concentrations in groundwater and surface water may mean that they are potentially a risk of eutrophication of waters in the studied geoeosystems. The presented results of a proposal to develop a quantitative methodological observed landscape changes based on long observational series obtained in IMNE. The obtained results have theoretical and practical significance for the study of planning and decision-making at different levels of environmental management.

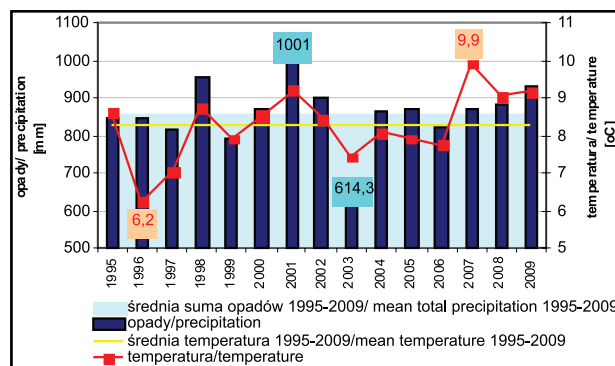
Małgorzata Anna Józwiak, Bartosz Jachymczyk



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań (<http://maps.geoportal.gov.pl/>)

Fig. 1. Location of study area (<http://maps.geoportal.gov.pl/>)

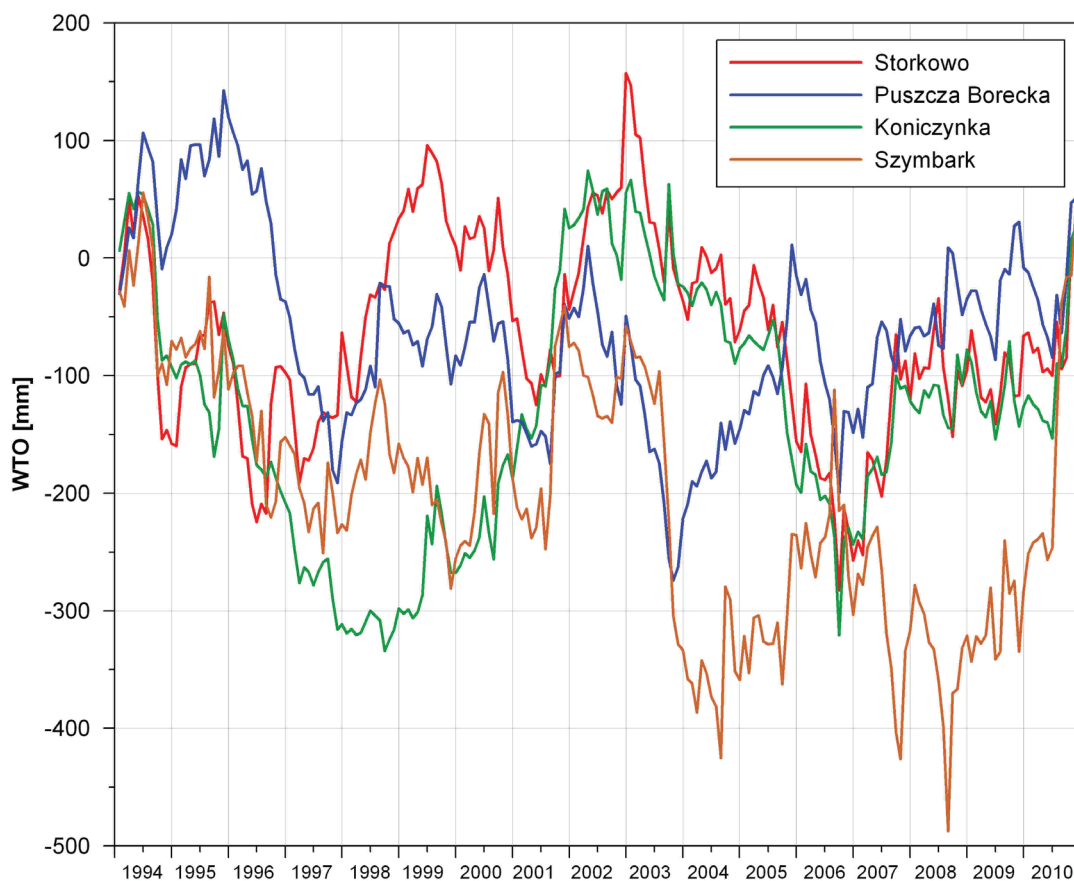
Małgorzata Kijowska



Ryc. 2. Roczne sumy opadów oraz średnia roczna temperatura powietrza na tle wartości średnich w latach hydrologicznych 1995-2009

Fig. 2. Total annual precipitation and mean annual temperature compared to average values in the period 1995-2009

Andrzej Kostrzewski, Józef Szpikowski, Grażyna Szpikowska



Ryc. 3. Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) dla wybranych Stacji Bazowych ZMŚP

Fig. 3. The indicator of precipitation trends (WTO) for choose IMNE Base Stations