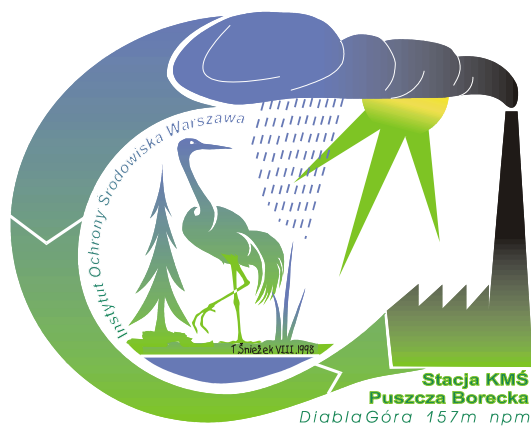


Instytut Ochrony Środowiska
Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska
Puszcza Borecka



Aktualny stan i funkcjonowanie geoekosystemu

Stacji Bazowej ZMŚP „Puszcza Borecka”



Autorzy opracowania:

Anna Degórska
Zdzisław Prządka
Tomasz Śnieżek – (red.)

Warszawa, kwiecień 2006

Wprowadzenie

Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska „Puszcza Borecka” Instytutu Ochrony Środowiska w Diablej Górze jest jedną ze Stacji Bazowych sieci realizującej program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na obszarze zalesionej pagórkowatej młodoglacjalnej wysoczyzny morenowej w zlewni. Od 1994 roku bierze udział w realizacji Programu Współpracy w Dziedzinie Monitoringu i Oceny Przenoszenia Zanieczyszczeń Powietrza na Dalekie Odległości w Europie (EMEP) będącego częścią Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości podpisanej w Genewie w roku 1979. Jest również jedną ze stacji sieci tworzącej Globalny System Monitoringu Środowiska (Global Environment Monitoring System - GEMS) a także stacją pracującą w sieci Integrated Monitoring Programme. Stacja zlokalizowana jest w powiecie giżyckim na terenie gminy Kruklanki, z dala od ośrodków przemysłowych, szlaków komunikacyjnych i dużych skupisk ludności. Nie podlega wpływom lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń atmosfery, wód i gleb. Jednym z celów jej działania jest dostarczanie informacji na temat stężeń i osiadania podstawowych zanieczyszczeń atmosfery z uwzględnieniem ich transgranicznego transportu oraz określanie długookresowych tendencji zmian zanieczyszczenia atmosfery i wód na poziomie tła. Realizowany jest program badania przepływu jonów w układzie : atmosfera - woda - szata roślinna - gleba w zlewni jeziornej. Prace badawcze nakierowane są na śledzenie wpływu niskich stężeń zanieczyszczeń atmosfery oraz kwaśnych opadów na funkcjonowanie ekosystemów leśnych i jeziornych.

Prace badawcze prowadzone na Stacji Puszcza Borecka związane są z następującymi, najistotniejszymi problemami polityki ekologicznej regionu:

- eutrofizacją jezior;
- oddziaływaniem niskich stężeń zanieczyszczeń atmosfery na ekosystemy leśne;
- wpływem kwaśnych deszczy na proces zakwaszania gleb;
- dokumentowaniem stanu środowiska na potrzeby tworzonych obszarów chronionych;
- problemami presji na środowisko ze strony turystyki.

Charakterystyka środowiska przyrodniczego zlewni reprezentatywnej

Zlewnia jeziora Łękuk, stanowiąca obiekt badawczy Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, znajduje się w mezoregionie Pojezierza Elckiego, makroregionu Pojezierza Mazurskiego na terenie podprovincji Pojezierza Wschodniobałtyckiego.

Pojezierze Elckie, zwane Mazurami Garbatymi, nie stanowi jednolitego regionu fizycznogeograficznego. Najwyższą, północną część Pojezierza stanowi Wał Gór Piłackich oraz przyległy, silnie pagórkowaty mikroregion Puszczy Boreckiej.

Pogranicze obszarów Gór Piłackich i Puszczy Boreckiej tworzy swoisty krajobraz zlewni jeziora Łękuk, obfitujący w pagóry, strome zbocza i bezodpływowe niecki. Kulminację terenu zlewni stanowi wzgórze o wysokości 217,4 m n.p.m.. Ujście wód zlewni do jeziora Gołdapiwo znajduje się na wysokości 117,3 m n.p.m. Maksymalna różnica wysokości terenu wynosi więc około 100 m. Spadki terenu w zlewni przekraczają 20°, a średnie wynoszą 4-7°.

Jezioro Łękuk położone jest na długości geograficznej wschodniej 22°02' i na szerokości geograficznej północnej 54°07'. Rzędna zwierciadła wody położona jest na wysokości 127,3 m n.p.m. Powierzchnia jeziora wynosi 22 ha, zaś powierzchnia zlewni jeziora wynosi 14,087 km².

Podłoże krystaliczne występuje na głębokości około 1500 m. Na nim zalegają skały osadowe paleozoiku, mezozoiku (trias, jura, kreda) i kenozoiku. Ostatnie spoczywają na górnej kredzie (opoki, gezy, rzadziej piaski kwarcowe i glaukonitowe). Miąższość utworów kredowych wynosi około 250 m.

Zlewnia jeziora Łękuk znajduje się w zlewni Węgorapy (dorzecze Pregoty). Stanowi ona górną część zlewni ciekuchodzącego do jeziora Gołdapiwo.

Jezioro Łękuk ma długość linii brzegowej około 2 km. Objętość jeziora, oszacowana na podstawie planu batymetrycznego, wynosi w przybliżeniu 110 tys. m³. Przyjmuje ono wody z czterech dopływów. Trzy z nich, mające ujścia we wschodniej i południowo-wschodniej części jeziora, odwadniają około 95% powierzchni zlewni.

Wody z jeziora Łękuk odpływają w północno-zachodnim kierunku, do jeziora Gołdapiwo.

Gmina Kruklanki, na terenie której znajduje się Stacja KMS Puszcza Borecka, ma wybitnie leśno-rolniczy charakter użytkowania ziemi. Grunty orne stanowią tu tylko około 20% powierzchni, łąki i pastwiska 13%, a lasy 53%. Powierzchnia terenów użytkowanych do celów komunikacyjnych oraz obszarów zajętych przez osiedla i kopalnie nie osiągnęła znaczącego udziału. Drogi stanowią około 3%, koleje 0,1%, a osiedla 1,5% powierzchni terenu gminy. Dość znaczny jest udział nieużytków (około 5,7% powierzchni gruntów).

Na terenie zlewni jeziora Łękuk występują żyzne i dobrze uwilgotnione gleby, sprzyjające bogactwu flory i różnorodności biocenoz, które zachowały znaczny stopień naturalności, zwłaszcza w Puszczy Boreckiej. Lasy są wysokopienne, bogate w gatunki, z bujnie rozwiniętą warstwą podszytu i obfitym runem. Dominuje świerk pospolity, często przy znaczącym udziale drzew liściastych (przewaga siedlisk leśnych), a w miejscach wilgotnych olcha czarna i jesion wyniosły. Świerk występuje zwykle z grabem, dębem szypułkowym, lipą drobnolistną, miejscami - z sosną zwyczajną. Na omawianym terenie występuje większość podstawowych zespołów leśnych, typowych dla północno-wschodniej Polski. W zlewni jeziora Łękuk dominują fitocenozy leśne.

Na obszarze Puszczy Boreckiej występuje około 40 gatunków roślin chronionych oraz bardzo wiele gatunków roślin rzadkich, które nie są objęte ochroną prawną; w tym wiele z nich - na obszarze zlewni jeziora Łękuk.

Stwierdzono występowanie 141 gatunków ptaków, a wśród nich wiele gatunków zagrożonych wyginięciem. Duża liczba miejsc występowania i często znaczna wielkość populacji stwarza prawdopodobieństwo długoterminowego przetrwania populacji tych gatunków. Cenną grupą są ptaki drapieżne. Wstępna inwentaryzacja wykazała istnienie gniazd orła bielika, rybołowa, myszołowa, gołębiarza i innych. Zarejestrowano również obecność bociana czarnego.

Urozmaicona rzeźba terenu, różnorodność i naturalność siedlisk stwarzają dobre warunki rozwoju zwierząt łownych. Występuje tu m.in. żubr na wolności (drugie miejsce po

Puszczy Białowieskiej). Spotykane są także duże drapieżniki (ryś, wilk), zaś pospolicie występują małe (lis, jenot, borsuk, kuna leśna, tchórz i piżmak).

Stacja KMS Puszcza Borecka położona jest nieopodal leśniczówki Diabla Góra, na zachodnim skraju Puszczy Boreckiej (ryc. 2).

Najistotniejsze punkty Stacji i zlewni jeziora Łękuk opisane są poniższymi danymi:

- Szerokość geograficzna Stacji (posterunku pomiarowego w Diabłej Górze) – 22°02'17,2"
- Długość geograficzna Stacji (posterunku pomiarowego w Diabłej Górze) – 54°07'31,5"
- Najwyżej położony punkt zlewni badawczej – 198,8 m n.p.m.
- Najniżej położony punkt zlewni badawczej – 127,3 m n.p.m.
- Wysokość położenia Stacji (posterunku pomiarowego w Diabłej Górze) – 157,5 m n.p.m.

Poniżej zamieszczono podstawowe informacje o zlewni jeziora Łękuk.

Powierzchnia zlewni badawczej – 14,087 km²

➤ Obwód zlewni badawczej – 29,607 km

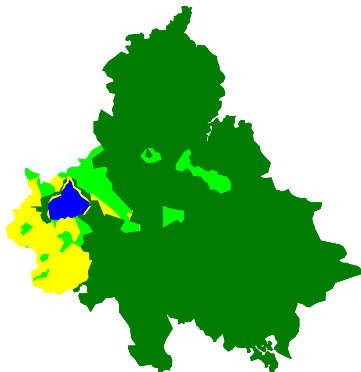
➤ Powierzchnia jeziora Łękuk – 0,22 km²

Na ryc.1 pokazano sposób użytkowania terenu.

Większość powierzchni zlewni pokrywają lasy.

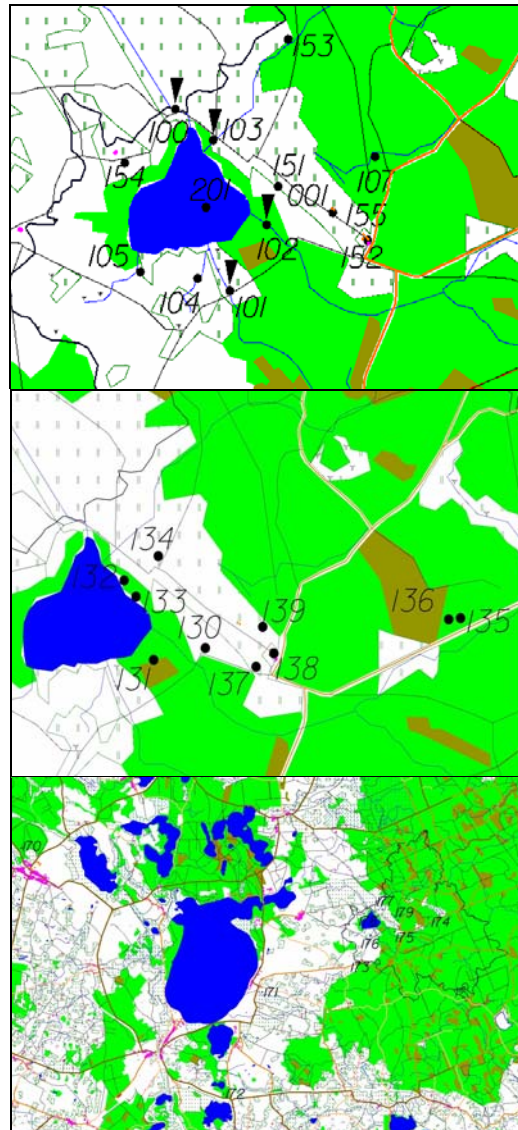
Udział poszczególnych typów pokrycia terenu przedstawia się następująco:

- Lasy – 11,956 km² (84,9%)
- Łąki – 0,876 km² (6,2%)
- Wody – 0,22 km² (1,6%)
- Inne – 1,035 km² (7,3%)



Ryc.1. Użytkowanie terenu w zlewni jeziora Łękuk

- ciemno-zielony - lasy
- zielony - łąki i pastwiska
- żółty - inne
- niebieski - wody powierzchniowe stojące



Ryc.2. Stanowiska pomiarowe w Stacji

System pomiarowy i metody badań

Meteorologia

- Od 1.01.1994 do 19.05.1995 prowadzono pomiary manualne z użyciem anemorumbometru półautomatycznego (W-863), deszczomierza Hellmanna, termometrów rtęciowych, psychrometru Augusta i heliografu Campbella, w trzech terminach: 06.00, 12.00 i 18.00 GMT.
- Od 20.05.1995 prowadzone są pomiary automatyczne za pomocą systemu M-500 Vaisala z czasem uśredniania 1 godziny. Opad dobowy mierzony jest manualnie za pomocą deszczomierza Hellmanna, natomiast natężenie opadu – mierzone automatycznie za pomocą deszczomierza systemu M500 (pełniącego też rolę deszczomierza kontrolnego).

Zanieczyszczenia powietrza

- Od 1994 roku prowadzone są pomiary dobowe związków siarki i azotu metodą manualną; od 1996 analizator O₃ – pomiary 1-godzinne; od 1998 analizator CO₂ – pomiary 1-godzinne; od 2003 pomiary SO₂ i NO₂ metodą pasywną z miesięczną ekspozycją próbników.

Chemizm opadu

- W latach 1994-2003 do oznaczania zawartości głównych jonów oraz pomiarów pH i przewodności pobierane były dobowe próbki opadu całkowitego; od 2004 pobierane są dobowe próbki opadu mokrego.
- W latach 1994-2002 do oznaczania zawartości metali ciężkich pobierane były dobowe próbki opadu całkowitego; od 2003 pobierane są tygodniowe próbki opadu mokrego.

Chemizm opadu podkoronowego

- Badania prowadzone od roku 2004 w lesie mieszanym; próbki pobierane do 12 kolektorów o łącznej powierzchni 0,26 m² zimą i 0,19 m² latem; tygodniowa ekspozycja kolektorów, próbki zlewane do miesięcznych.

Chemizm spływu po pniach

- Badania prowadzone od roku 2004 w lesie mieszanym na 3 stanowiskach: na dębie, grabie i świerku; tygodniowa ekspozycja kolektorów, próbki zlewane do miesięcznych.

Siarka i metale ciężkie w porostach

- Badania prowadzone są od roku 2001 na dziesięciu stanowiskach położonych zarówno w granicach zlewni jeziora Łękuk jak i poza tymi granicami. Do obserwacji wykorzystywane są porosty występujące naturalnie na stanowiskach badawczych.

Wody podziemne

- Badania prowadzone są w dwóch punktach pomiarowych (155, 152) z manualnymi pomiarami głębokości i temperatury wody co tydzień oraz poborem próbek i wykonywaniem analiz chemicznych co miesiąc;
 - studnia wiercona (155) o głębokości zwierciadła wody 14m ze średnim poborem wody 1.5m³/miesiąc dla celów użytkowych. Pomiary prowadzone od 1.11.1996;
 - studnia kopana (152) o głębokości zwierciadła wody 3.5m z poborem wody około 4m³/miesiąc dla celów użytkowych (w tym gospodarczych). Pomiary prowadzone od 1.05.2003.

Opad organiczny

- Badania prowadzone od roku 2004 na stanowiskach w lesie mieszanym. Rozmieszczono w linii sześć kolektorów o sumarycznej powierzchni 3m².

Wody powierzchniowe - rzeki

- Badania prowadzone od 01.11.2003 w czterech punktach pomiarowych (100, 101, 102 i 103) z poborem próbek i wykonaniem analiz chemicznych co miesiąc (w okresie od wiosennego zejścia lodu do zimowego jego pojawienia się);
- do 31.10.2002 prowadzono manualne pomiary wysokości poziomu wody, pH i przewodności co tydzień we wszystkich czterech punktach przelewowych;

- o od 1.11.2001 pomiary wysokości poziomu wody (przepływu) w punktach 100. 102 i 103 prowadzone są automatycznie z czasem uśredniania 1 godzina oraz co tydzień - manualne pomiary odczynu pH, przewodności i temperatury wody.
- o od 1.11.2001 w punkcie 101 prowadzone są tylko badania właściwości fizykochemicznych wody (w tym pH, przewodności i temperatury) z częstością taką, jak dla pozostałych cieków.

Wody powierzchniowe - jeziora

- o Badania prowadzone od 01.11.1993 w stałym punkcie pomiarowym (201), na głębokościach 1m i 11m (około 1m od dna) z poborem próbek i wykonaniem analiz chemicznych co miesiąc (w okresie od wiosennego zejścia lodu do zimowego jego pojawienia się).
- o Pomiary poziomu wody prowadzone są manualnie co tydzień.
- o Pomiary temperatury i stężenia tlenu w jeziorze Łękuk prowadzone są manualnie co miesiąc (w okresie od wiosennego zejścia lodu do zimowego jego pojawienia się) w stałym punkcie pomiarowym (201), na głębokościach od 1 i do 12 metrów, w profilu pionowym co 1m.

Epifity nadrzewne - porosty

- o Program realizowany od roku 2001; obserwacje zmienności powierzchni plech wykonywano w latach 2002-2004 na dziesięciu stanowiskach.

Fauna epigeiczna

- o Badania prowadzone od roku 2004 w trzech typach siedlisk: w grądzie, lesie mieszanym i borze bagiennym. W grądzie i lesie mieszanym wytyczono po trzy powierzchnie badawcze. Na każdej z tych powierzchni ustawiono po pięć pułapek Barbera. W borze bagiennym (ze względu na niewielki obszar tego siedliska) wytypowano jedną powierzchnię badawczą a na niej również pięć pułapek Barbera. Odłowy biegaczowatych dokonywane są od maja do września w cyklach miesięcznych.

Tabela 1. Stosowane metody analityczne dla próbek roztworów wodnych

Parametr (y)	Metoda	Uwagi
pH	potencjometryczna	
przewodność el. wł.	konduktometryczna	
SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , Cl	elektroforeza kapilarna	od 1995, wcześniej: chromatografia jonowa
NH ₄ ⁺	spektrofotometria	
Na, K, Mg, Ca	ICP-AES	
Al., Fe, Mn, P _{całk.} , PO ₄ ³⁻ , Si,	ICP-AES	
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	ICP-AES	
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb	GF-AAS	Chemizm opadów

ICP-AES : plama wzbudzona indukcyjnie, spektrometria emisyjna atomowa

GF-AAS : spektrometria absorpcyjna atomowa, kuweta grafitowa

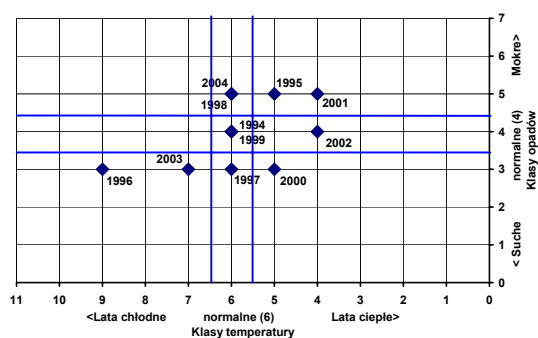
Analiza czasowa poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego

Meteorologia

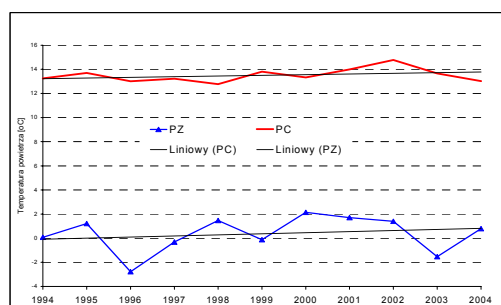
Energia promieniowania słonecznego dochodząca do powierzchni Ziemi ma istotny wpływ na kształtowanie się warunków termiczno-opadowych w przyziemnej warstwie atmosfery. W latach 1996-2004 obserwowano niewielki lecz wyraźny jej wzrost, najbardziej zaznaczony dla ciepłej połowy roku hydrologicznego (V-X). Zmiany w dopływie energii słonecznej do powierzchni ziemi miały wpływ na kształtowanie się przebiegu zmian temperatury powietrza w latach 1994-2004. W tabeli 2 przedstawiono średnie roczne i ekstremalne wartości miesięczne dla każdego roku hydrologicznego. Najcieplejszym okresem w 11-leciu był rok hydrologiczny 2002, z bardzo ciepłym latem i względnie mroźną zimą. Najchłodniejszym okresem był rok 1996 z przeciętnym latem oraz mroźną i długo trwającą zimą (z najdłuższą zalegającą pokrywą śnieżną). Należy zaznaczyć, że rok 2003 sklasyfikowany jako okres lekko chłodny i suchy (ryc.3), charakteryzował się największą amplitudą zmian średnich miesięcznych temperatur, na co wpłynął najzimniejszy w wieloleciu grudzień i upalny lipiec - jeden z najcieplejszych miesięcy w 11-leciu.

Tabela 2. Średnie roczne i ekstremalne wartości miesięczne temperatury powietrza i sumarycznego opadu wraz z miesięcznymi odchyleniami standardowymi

Lata hydrologiczne	Temperatura [°C]				Opad [mm]			
	ŚRED	STD	MIN	MAX	ŚRED	STD	MIN	MAX
1994	6.7	8.3	-5.7	20.4	670.7	23.6	16.5	92.7
1995	7.5	7.4	-3.4	17.7	786.3	30.1	34.5	117.5
1996	5.1	9.3	-7.1	17.8	510.7	19.8	12.4	87.8
1997	6.5	8.4	-7.1	18.2	547.9	25.6	16.6	92.3
1998	7.1	6.8	-2.1	15.6	778.1	34.6	31.4	163.9
1999	6.8	8.5	-4.1	18.7	639.3	25.8	19.4	103.1
2000	7.7	6.9	-2.3	16.0	573.3	24.2	4.0	93.7
2001	7.9	7.4	-2.4	19.9	761.4	37.8	27.3	155.0
2002	8.1	8.4	-5.3	19.8	709.9	31.7	14.5	132.4
2003	6.1	9.4	-7.8	19.6	494.5	26.7	9.7	98.3
2004	6.9	7.6	-6.9	17.6	743.0	27.2	24.7	116.6



Ryc.3. Klasyfikacja termiczno-opadowa dla lat hydrologicznych (Lorenca)



Ryc.4. Zmiany średnich temperatur dla ciepłej (PC) i chłodnej (PZ) połowy roku

Z analizy średnich rocznych temperatur powietrza wynika, że dla okresu 1994-2004 istnieje tendencja wzrostowa temperatury. Natomiast z analizy średnich miesięcznych temperatur wynika, że tendencja wzrostowa dotyczy średniej temperatury zarówno dla ciepłej (PC), jak i dla chłodnej (PZ) połowy roku hydrologicznego (ryc.4).

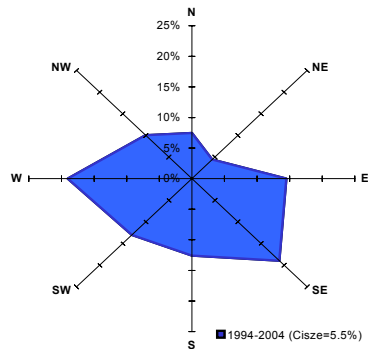
Lata 1996 i 2003, które należą do bardzo i lekko chłodnych okresów charakteryzują się też najniższymi sumami opadów. W tych latach wystąpiły względnie niskie opady zimowe i letnie. Największą amplitudę zmian opadów miesięcznych zanotowano w roku 2000, który rozpoczął trzyletni, najcieplejszy okres w badanym 11-leciu i w którym wystąpiły największe, wiosenne oraz jesienne okresy przesuszenia gruntu, stwarzające poważne zagrożenie pożarowe lasów.

Generalnie w ciągu ostatniego 11-lecia opady roczne nie mają wyraźnie zaznaczonego trendu. Jednak, jak wynika z ryciny 5, sumaryczne opady dla ciepłej połowy roku (PC) mają tendencję wzrostową, natomiast opady zimowe – tendencję spadkową.

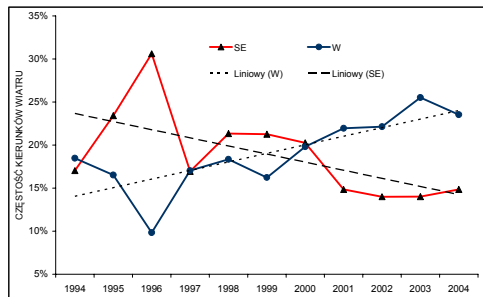
W okresie 1994-2004 w rejonie Stacji przeważały wiatry z kierunków zachodnich i południowo-wschodnich (ryc.6). Zaobserwowano, że o ile częstość wiatrów zachodnich przeciętnie wzrosła w 11-leciu (o około 10%), to dla wiatrów południowo-wschodnich i południowo-zachodnich oraz wschodnich istnieje tendencja spadkowa, czego przykładem jest przebieg zmian częstości wiatrów zachodnich i południowo-wschodnich w latach 1994-2004, przedstawionych na rycinie 7.

Średnia roczna prędkość wiatru i częstość występowania cisz (średnia godzinna prędkość <0.5m/s) nie wykazywały istotnych zmian w analizowanym 11-wieloleciu, natomiast zaobserwowano nasilenie się wiatrów o maksymalnych porywach, przekraczających 20 m/s. Na rycinie 8 przedstawiono przebiegi zmian maksymalnych prędkości wiatru w ciepłych (PC) i chłodnych (PZ) połowach hydrologicznych lat 1994-2004. Można zauważyć, że prędkości wiatrów maksymalnych generalnie rosną w analizowanym wieloleciu, zarówno dla chłodnej, jak i ciepłej połowy roku.

Rekordowy pod względem najsilniejszych wiatrów w chłodnych i ciepłych sezonach był najcieplejszy w 11-wieloleciu rok 2002. Należy podkreślić, że w tym roku wystąpiły w styczniu i w lipcu huraganowe wiatry (>27m/s). Niszczycielskie porywy wiatru, o szacowanych prędkościach znacznie przekraczających 30 m/s, które wystąpiły 4 lipca powaliły lub uszkodziły drzewa na dużych obszarach leśnych Puszczy Boreckiej (około 7% strat w drzewostanie) i Puszczy Piskiej oraz uszkodziły dach budynku na Stacji w Diablej Górze.

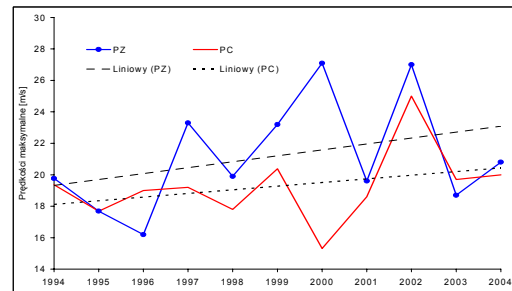


Ryc.6. Róża wiatrów w latach 1994-2004 dla Stacji



Ryc.7. Częstości dominujących wiatrów

eks
tre
mal
ne
zja
wis
ka
me
teo
rol
ogi
czn
e,



Ryc.8. Zmiany maksymalnej prędkości wiatru w ciepłej (PC) i chłodnej (PZ) połowie roku

W okresie 2000-2002 zaobserwowano nasilające się takie, jak huraganowe, niszczycielskie wiatry w latach 2000 i 2002, śnieżno-lodowe opady niszczące drzewa i linie energetyczne (okisać na przełomie roku 2000 i 2001) i susza gruntowa w roku 2000. Coraz bardziej intensywne opady (głównie w porze letniej) nie stanowią zagrożenia dla ekosystemów w rejonie Stacji. Względnie wysokie opady roczne (>700mm), jak wynika z obserwacji, przyczyniają się do poprawy warunków wilgotnościowych gruntu i powstrzymywania procesów przesuszania podmokłych obszarów leśnych, licznie występujących w rejonie Stacji na początku okresu badań.

Zanieczyszczenia powietrza

Pomiary zanieczyszczeń powietrza i opadów atmosferycznych stanowią program specjalistyczny Stacji Bazowej Puszcza Borecka. Stąd realizowany jest program rozszerzony, a pomiary zanieczyszczeń powietrza prowadzone są metodami manualnymi (pomiary dobowe związków siarki i azotu) i automatycznymi (pomiary godzinne O_3 i CO_2). W roku 2003 wprowadzono dodatkowo pomiary stężenia dwutlenku siarki i dwutlenku azotu metodami pasywnymi – tak, jak na innych stacjach bazowych ZMŚP.

W tabeli 3 zestawiono podstawowe charakterystyki rocznych serii pomiarowych dla lat hydrologicznych 1994-2004 i okresu 11-lecia.

Tabela 3. Średnie roczne stężenia badanych zanieczyszczeń powietrza wraz z odchyleniem standardowym oraz wartości minimalne i maksymalne z wartości dobowych (związki S i N) i godzinnych (O_3 i CO_2) w poszczególnych latach.

Rok hydr.	Charakterystyka	S-SO ₂	N-NO ₂	S-SO ₄	N (NH ₄) NH ₃ +NH ₄	N (NO ₃) HNO ₃ +NO ₃	O ₃	CO ₂
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
1994	średnia	2.58	1.16	1.26	1.74	0.40		
	odch. stand.	3.17	1.20	1.09	1.03	0.47		
	min	0.09	0.05	0.10	0.19	0.09		
	max	19.46	7.95	7.93	5.83	2.77		
1995	średnia	2.22	0.63	1.07	1.72	0.52		
	odch. stand.	2.63	1.00	0.99	1.23	0.57		
	min	0.09	0.01	0.09	0.02	0.06		
	max	15.91	8.82	6.28	6.82	5.70		
1996	średnia	2.62	1.01	1.67	1.74	0.78	66.8	
	odch. stand.	2.96	1.08	1.41	1.25	0.63	25.3	
	min	0.08	0.03	0.09	0.02	0.11	6.8	
	max	15.18	7.89	8.18	7.99	4.90	171.3	
1997	średnia	1.57	1.22	1.26	1.36	0.71	56.1	
	odch. stand.	2.36	1.37	1.22	0.98	0.74	20.6	
	min	0.08	0.04	0.08	0.02	0.10	5.0	
	max	13.12	8.98	10.15	7.81	5.04	108.0	
1998	średnia	1.22	0.84	1.26	1.26	0.62	56.0	389.1
	odch. stand.	1.44	1.19	0.88	0.85	0.51	13.5	20.5
	min	0.09	0.04	0.09	0.02	0.11	1.0	347.8
	max	10.14	9.09	4.65	6.26	3.36	159.0	417.7
1999	średnia	1.47	0.88	1.06	1.19	0.61	65.5	385.1
	odch. stand.	2.25	0.83	0.97	0.81	0.57	19.2	6.1
	min	0.02	0.06	0.03	0.03	0.06	20.7	370.7
	max	15.91	6.88	7.14	5.00	3.47	115.1	393.2
2000	średnia	1.15	1.10	0.73	1.34	0.45	62.2	395.8
	odch. stand.	1.51	1.27	0.69	0.85	0.34	15.3	10.2
	min	0.02	0.06	0.02	0.01	0.08	1.0	380.5
	max	11.63	9.04	5.16	4.64	2.28	160.7	414.9
2001	średnia	0.71	0.78	1.00	1.47	0.58	55.5	382.2
	odch. stand.	0.88	0.70	0.65	0.73	0.45	13.7	13.9
	min	0.01	0.02	0.07	0.16	0.05	1.0	364.2
	max	5.12	4.53	3.35	5.04	2.44	154.4	410.0
2002	średnia	0.76	0.80	0.82	1.72	0.56	64.2	370.7
	odch. stand.	1.55	0.71	0.77	1.06	0.48	14.6	22.8
	min	0.07	0.02	0.07	0.16	0.10	1.0	335.5
	max	14.67	6.93	8.14	5.85	4.41	159.0	404.1
2003	średnia	0.87	0.71	0.85	1.30	0.68	60.2	374.6
	odch. stand.	0.90	0.42	0.79	0.76	0.66	15.1	8.8
	min	0.02	0.02	0.07	0.17	0.08	1.0	361.8
	max	7.09	3.88	5.16	4.79	5.98	154.7	388.2
2004	średnia	0.68	0.77	0.66	1.48	0.65	52.5	377.6
	odch. stand.	0.94	0.61	0.50	0.73	0.67	13.9	8.5
	min	0.07	0.08	0.07	0.10	0.08	1.0	364.3
	max	8.71	5.43	3.59	5.24	4.85	134.2	392.7
1994-2004	średnia	1.43	0.90	1.06	1.47	0.61	60.0	382.2
	odch. stand.	2.14	1.00	0.98	0.97	0.58	17.8	12.9
	min	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	1.0	335.5
	max	19.46	9.09	10.15	7.99	5.98	171.3	417.7

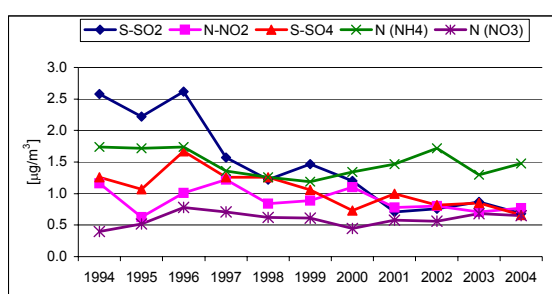
W tabeli 4 zestawiono podstawowe charakterystyki rocznych serii pomiarowych dwutlenku siarki i dwutlenku azotu, prowadzonych metodami pasywnymi dla lat hydrologicznych 2003-2004.

Zmiany wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza znajdują odzwierciedlenie w wielkości stężenia tych zanieczyszczeń – zarówno podstawowych jak i wtórnych - mierzonych na stacjach monitoringu tła zanieczyszczenia, w tym Stacji KMS Puszcz Borecka. Spadek emisji – obserwowany dla większości badanych zanieczyszczeń – od połowy lat 90-tych był mniej gwałtowny niż na przełomie lat 80-tych i 90-tych. Jednak dla większości badanych na Stacji zanieczyszczeń powietrza zanotowano systematyczny spadek z roku na rok średniej rocznej wartości stężenia (ryc.9). W ostatnich latach dynamika zmian średnich rocznych stężeń zanieczyszczeń powietrza była mniejsza niż w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych. W latach 2001-2004 średnie roczne wartości stężenia siarki i azotu w badanych związkach (poza $(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)$) bardzo się do siebie zbliżyły. W stosunku do wartości obserwowanych na początku okresu objętego analizą (rok 1994) zanotowano w 2004 roku spadek średniego rocznego stężenia dwutlenku siarki (o 74%), siarczanów (o 48%), dwutlenku azotu (o 34%), sumy amoniaku i jonów amonowych (o 15%), a wzrost średniego rocznego stężenia sumy tlenowych związków azotu (o 63%).

Spośród badanych zanieczyszczeń powietrza najsilniejszą korelację obserwuje się pomiędzy SO_2 a SO_4 , $(\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-)$ i NO_2 , SO_4^{2-} a $(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)$ i $(\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-)$ oraz NO_2 z $(\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-)$.

Związki siarki

Spadek wielkości emisji dwutlenku siarki z krajowych źródeł stacjonarnych spowodował najbardziej znaczący spadek wielkości stężenia SO_2 – średnie roczne stężenie w 2001 roku było 4-krotnie niższe od zanotowanego w 1993 roku (ryc.9). W roku 2001 średnie roczne stężenie dwutlenku siarki osiągnęło wartość najmniejszą w historii pomiarów na Stacji. Ale od tego roku nastąpiło zahamowanie spadku wielkości stężenia SO_2 . Mniej znaczące były zmiany z roku na rok stężenia siarczanów w aerozolu atmosferycznym



Ryc. 9. Średnie roczne stężenia związków siarki i azotu w powietrzu na Stacji KMS Puszcz Borecka w latach hydrologicznych

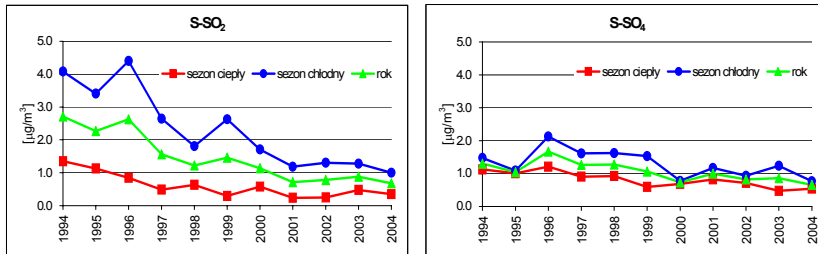
wielkości średniego stężenia w obu sezonach bardzo się do siebie zbliżyły, głównie z powodu zmniejszenia koncentracji dwutlenku siarki w okresie zimowym, ale także wskutek niewielkiego wzrostu w sezonie ciepłym (rok 2003). W przypadku siarczanów zmienność sezonowa wielkości stężenia była mniejsza niż dla dwutlenku siarki, choć w sezonie chłodnym na ogół notowano wartości wyższe niż w ciepłym. Jedynie w latach 1995, 2000 i 2004 nie zaobserwowano różnic wartości średnich dla sezonów. Cechą charakterystyczną relacji pomiędzy stężeniami badanych związków siarki jest także przewaga stężenia siarki w

Tabela 4. Średnie roczne stężenia SO_2 i NO_2 (metoda pasywna) wraz z odchyleniem standardowym oraz wartości minimalne i maksymalne z wartości miesięcznych

Rok hydr.	Charakterystyka	SO_2	NO_2
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2003	średnia arytm.	2	4
	odch. stand.	1	3
	max.	4	9
	min.	<1	2
2004	średnia arytm.	2	4
	odch. stand.	2	3
	max.	5	10
	min.	<1	1
2003-2004	średnia arytm.	2	4
	odch. stand.	1	3
	max.	5	10
	min.	<1	1

W połowie lat 90-tych zaobserwowano nawet krótkotrwały wzrost stężenia SO_4 . Przebieg zmian wartości średnich dla sezonu chłodnego i ciepłego w wieloleciu prezentowany jest na rycinie 10. Także w takim ujęciu widać wyraźnie spadek wielkości stężenia z roku na rok, przy czym spadek w sezonie chłodnym był bardziej znaczący niż w sezonie ciepłym. Można zatem stwierdzić, że na spadek średnich rocznych wartości wpłynęło w większym stopniu systematyczne zmniejszanie się stężenia SO_2 w sezonie chłodnym. W ostatnich czterech latach

postaci dwutlenku nad stężeniem siarki w postaci siarczanów w ciepłym półroczu (ryc.10). Taki obraz ukształtował się od 1995 roku, przy czym w roku 2003 stężenie siarki w obu postaciach osiągnęło tę samą wartość (zarówno w sezonie chłodnym jaki i w ciepłym). W sezonie chłodnym w latach 90-tych przewaga stężenia S-SO₂ nad stężeniem S-SO₄ była wyraźnie widoczna. W latach 2001-2004 wartości te bardzo się do siebie zbliżyły lub wręcz

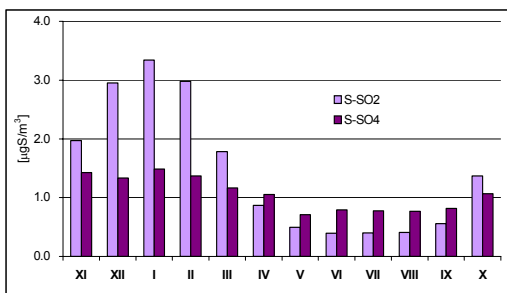


Ryc. 10. Średnie sezonowe wartości stężenia związków siarki w powietrzu

zrównały. Średnie miesięczne wartości stężenia dwutlenku siarki obliczone na podstawie wyników pomiarów z lat 1994-2004 wykazują wyraźne różnicowanie sezonowe – w typowo

zimowych miesiącach: styczniu, lutym i grudniu obserwowane były największe wartości (ryc.11). Średnie miesięczne wartości z wielolecia dla tych miesięcy były niemal 6-krotnie wyższe niż średnie wartości obserwowane w miesiącach letnich : od maja do sierpnia (z minimum w czerwcu).

W przypadku siarczanów zmienność sezonowa wielkości stężenia była mniejsza niż w przypadku dwutlenku siarki. Amplituda wartości średnich miesięcznych stężenia siarczanów w powietrzu była znacznie mniejsza – największe wartości obserwowano w miesiącach



Ryc. 11. Średnie stężenie S-SO₂ i S-SO₄ obliczone dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych z lat 1994-2004

chłodnych (styczeń, luty oraz listopad, grudzień) i były one dwukrotnie większe od średnich wartości dla miesięcy ciepłych (od maja do września).

Wielkość emisji zanieczyszczeń kształtowana jest nie tylko przez wielkości emisji tych zanieczyszczeń do atmosfery, ale także przez warunki meteorologiczne. Przeanalizowano wpływ temperatury powietrza, wielkości opadów atmosferycznych i wilgotności powietrza na wielkość stężenia zanieczyszczeń powietrza badanych na Stacji. Stężenie dwutlenku siarki jest najsilniej skorelowane (odwrotnie) z temperaturą

powietrza i promieniowaniem słonecznym (odwrotnie). Nieco mniej wyraźnie zaznacza się korelacja średniego dobowego stężenia siarczanów z temperaturą powietrza i promieniowaniem słonecznym. Wpływ temperatury powietrza na wielkość stężenia dwutlenku siarki wiąże się przede wszystkim z wpływem na wielkość emisji – przy niższych temperaturach powietrza następuje wzrost emisji SO₂ związany z intensyfikacją procesów spalania paliw, zatem i stężenie mierzone na Stacji jest wyższe.

Związki azotu

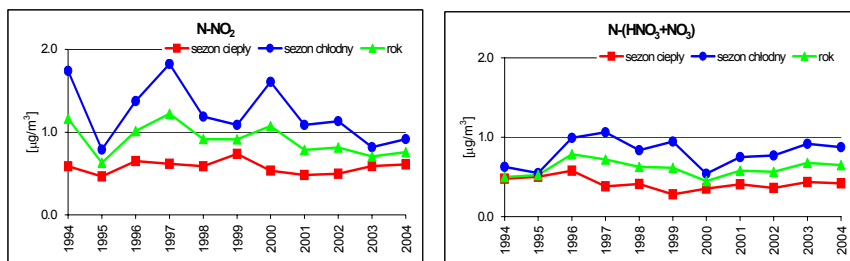
Od początku lat 90-tych emisja dwutlenku azotu z krajowych źródeł stacjonarnych wykazuje tendencję spadkową. Wzrasta natomiast emisja ze źródeł komunikacyjnych. Lokalizacja Stacji KMŚ Puszcza Borecka z dala od głównych szlaków komunikacyjnych o rosnącym natężeniu ruchu pozwala na uniknięcie znaczącego wpływu takich źródeł emisji NO₂.

W ślad za zmianami wielkości emisji podążają wielkości stężenia tlenowych związków azotu badanych na Stacji : pierwotnego – dwutlenku azotu i wtórnego – azotanów, oznaczanych jako suma kwasu azotowego (HNO₃) i azotanów (NO₃). Zmiany te nie były tak spektakularne, jak w przypadku związków siarki.

Beztlenowe związki azotu osiągnęły w drugiej połowie lat 90-tych wartości średniego rocznego stężenia niższe niż na początku okresu objętego pomiarami i niższe niż w

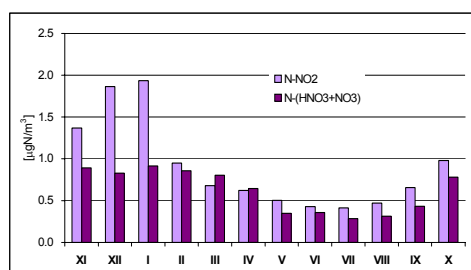
ostatnich latach. Obserwuje się zatem w latach 2000-2004 powrót do wartości z lat 1994-1996. Zmiany te mogą być spowodowane lokalnymi zmianami emisji amoniaku do atmosfery.

Dwutlenek azotu wykazuje podobną zmienność sezonową, jak dwutlenek siarki – wyższe wartości obserwowane były w okresie zimowym, niższe zaś latem. Średnie stężenie NO_2 w ciepłym sezonie utrzymywało się niemal przez wszystkie lata na jednakowym poziomie. W chłodnym sezonie było ono bardziej zmienne z roku na rok – stąd wniosek, że zmiany



Ryc. 12. Średnie sezonowe wartości stężenia tlenowych związków azotu.

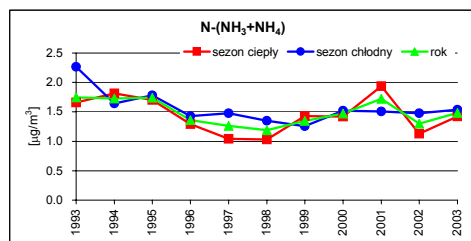
średniego rocznego stężenia NO_2 były głównie kształtowane przez zmiany zachodzące w sezonie chłodnym (ryc.12). Natomiast w przypadku sumy tlenowych związków azotu (HNO_3+NO_3)



Ryc. 13. Średnie stężenie N-NO_2 i $\text{N-(HNO}_3+\text{NO}_3)$ obliczone dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych z lat 1994-2004

zmiany sezonowe były bardziej widoczne niż w przypadku siarczanów.

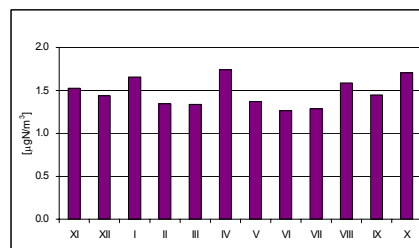
Zarówno średnie miesięczne stężenie NO_2 , jak i średnie miesięczne stężenie (HNO_3+NO_3) – obliczone na podstawie wyników pomiarów dobowych z wielolecia - osiągały najmniejsze wartości w miesiącach letnich, a największe w miesiącach zimowych (ryc. 13). Zimą obserwowana była także największa różnica stężenia azotu w postaci NO_2 i stężenia azotu w postaci (HNO_3+NO_3). Jednak we wszystkich miesiącach (poza wiosennymi : marcem i kwietniem) obserwowana była przewaga azotu w formie pierwotnego zanieczyszczenia (NO_2) nad azotem w formie związków wtórnych (HNO_3+NO_3).



Ryc. 14. Średnie sezonowe wartości stężenia beztlenowych związków azotu

Beztlenowe związki azotu nie wykazują takich zmian sezonowych (ryc.14). Brak wyraźnego zróżnicowania sezonowego beztlenowych związków azotu potwierdza także analiza przebiegów średnich wartości stężenia w poszczególnych sezonach – jest to przebieg zdecydowanie odbiegający od obserwowanego dla tlenowych związków siarki i azotu. W

wieloleciu trudno nawet jednoznacznie stwierdzić, czy na wielkość średniego rocznego stężenia amoniaku i jonów amonowych większy wpływ mają wartości z sezonu ciepłego, czy chłodnego - w poszczególnych latach sytuacja się zmienia. Natomiast wzrost średniej rocznej wartości stężenia NH_3+NH_4 w latach 2001 i 2002 był wyraźnie związany ze wzrostem stężenia w ciepłym sezonie. Średnie miesięczne wartości stężenia NH_3+NH_4 , obliczone dla 11-letnia 1994-2004, są do siebie zbliżone w całym roku (ryc.15). Nieznaczne podwyższenie można zaobserwować w miesiącach typowo wiosennych (IV) i jesiennych (X), co może



Ryc. 15. Średnie miesięczne stężenie $\text{N-(NH}_3+\text{NH}_4)$ obliczone na podstawie danych z lat 1994-2004

być związane z emisją w wyniku gnicia liści i ściółki na terenie Puszczy Boreckiej – w bezpośrednim sąsiedztwie Stacji.

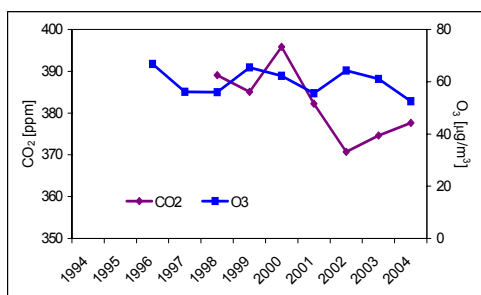
Tlenowe związki azotu wykazują korelację z temperaturą powietrza (odwrotną) i promieniowaniem słonecznym (odwrotną). Natomiast dla beztlenowych związków azotu korelacja z parametrami meteorologicznymi mierzonymi na Stacji jest znikoma.

Zależność stężenia tlenowych związków azotu – zarówno NO_2 jak i $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3$ od temperatury jest niemal identyczna. W przypadku, gdy średnia dobowa temperatura powietrza przyjmowała wartości ujemne lub niewiele wyższe od 0°C obserwowane były większe wartości stężenia (przewyższające wartość średnią z wielolecia). Dla temperatur dodatnich, w miarę ich wzrostu, notowano niższe wartości stężenia. Jest to potwierdzeniem omówionego wcześniej rozkładu stężenia w sezonach.

Podobnie, jak w przypadku dwutlenku siarki wraz ze wzrostem wilgotności powietrza wzrasta średnie stężenie dwutlenku azotu, osiągając największą wartość, gdy średnia dobowa wilgotność powietrza przekracza 90%. Suma $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3$ wydaje się być mniej uzależniona od wilgotności powietrza. Niemal odwrotnie kształtuje się zależność stężenia beztlenowych związków azotu od wilgotności powietrza: największe wartości obserwowano w suchym powietrzu, wraz ze wzrostem wilgotności malało średnie stężenie osiągając minimalną wartość dla przedziału 80-90%. W dniach o największej średniej wilgotności powietrza obserwowano wzrost średniego stężenia powyżej wartości średniej z wielolecia.

Ozon i dwutlenek węgla

Monitoring ozonu przyziemnego prowadzony na Stacji od roku 1996 wykazuje od początku pomiarów przekroczenia niektórych wartości progowych, ustanowionych ze względu na ochronę zdrowia lub roślin.

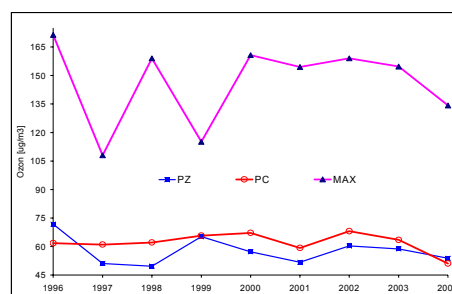


Ryc. 16. Średnie roczne stężenia ozonu i dwutlenku węgla.

ogół większe, niż w sezonie chłodnym (PZ). Wyraźną przewagę stężeń w sezonie chłodnym nad stężeniami w sezonie ciepłym zaobserwowano jedynie w 1996 roku – w najzimniejszym okresie 11-lecia. W tym roku wystąpiły w marcu i kwietniu najwyższe w wieloleciu stężenia godzinne ozonu w ciągu doby ($>170 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Jak widać na rycinie 17 w latach 2000-2002, czyli w najcieplejszym okresie 11-lecia stężenia maksymalne utrzymywały się na równie wysokim, jak w roku 1996, poziomie (około $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ale głównie w okresie wegetacyjnym (maj – sierpień). Z pomiarów wynika, że w tych trzech najcieplejszych latach, pomimo występowania przekroczeń wartości progowych dla zdrowia (od kilkunastu do około 30 razy w ciągu roku), nie były przekroczone

Z przebiegu zmian średnich rocznych wartości wynika (ryc.16), że w latach 1996-2004 stężenia ozonu wahały się w granicach $55-65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lecz utrzymywały się generalnie na zbliżonym poziomie. Podwyższone stężenia tego specyficznego zanieczyszczenia fotochemicznego, jakim jest ozon pojawiały się zarówno w chłodnej (XI-IV), jak i w ciepłej (V-X) połowie roku. Jednak wysokie stężenia w sezonie wegetacyjnym stanowią największe zagrożenie dla roślin. Jak wynika z ryciny 17, przeciętne stężenia ozonu w sezonie ciepłym (PC) były na



Ryc. 17. Średnie stężenia ozonu dla chłodnej (PZ) i ciepłej (PC) połowy roku oraz największe stężenia w ciągu doby (MAX).

normowane wskaźniki ochrony zdrowia ¹ i ochrony roślin ². Nie zaistniały także incydentalne przypadki, wymagające informowania społeczeństwa o przekroczeniu progu alarmowego ($>180\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla wartości godzinnej). Tym bardziej nie zostały przekroczone normy w znacznie chłodniejszych latach 2003-2004, w których średnie i maksymalne stężenia wyraźnie spadały (ryc.17).

Podsumowując można stwierdzić, że w latach 1996-2004 w rejonie Stacji Puszcza Borecka występowały co roku wysokie stężenia ozonu w okresach marzec-kwiecień i maj-sierpień, które jednak nie stworzyły nadzwyczajnych zagrożeń dla ludzi i środowiska.

Dwutlenek węgla jest kolejnym specyficznym zanieczyszczeniem powietrza, mierzonym automatycznie na Stacji od 1997 roku, który z jednej strony jest naturalnym składnikiem atmosfery, a z drugiej – zanieczyszczeniem odpowiedzialnym za ocieplenie klimatu.

Wartości stężenia dwutlenku węgla w przyziemnej warstwie atmosfery, jak wynika z analizy danych godzinnych, są zależne od warunków meteorologicznych, aktywności biosfery i działalności człowieka. W każdym roku stężenia CO_2 wykazują pewną cykliczność: największe wartości przypadają na wiosnę i jesień, natomiast najniższe - na lato. Cykl ten jest uwarunkowany aktywnością biosfery w okresie wegetacyjnym (pochłanianie CO_2 przez rośliny oraz jego emisja glebowa) i wzmożonym spalaniem paliw energetycznych w sezonie zimowym. W latach 1997-2004, jak wynika z ryciny 16, średnie roczne stężenia zmieniały się w dość szerokim przedziale: od 374 do 395ppm, natomiast ekstremalne wartości w ciągu doby – w jeszcze szerszym przedziale: 335 - 418 ppm (tab.3). Najniższe stężenia wystąpiły w 2002 roku, w najcieplejszym okresie 11-lecia. W tym roku stężenia w sezonie wegetacyjnym (V-X), które na ogół są niższe od stężeń w sezonie chłodnym, były najniższe w analizowanym okresie. Od tego roku obserwowany jest systematyczny wzrost stężeń CO_2 , spowodowany głównie względnie mroźnymi zimami i umiarkowanie ciepłymi latami. Można przyjąć, że jeżeli w rejonie Stacji, otoczonej lasami, nastąpią w najbliższych latach ciepłe i suche okresy (pod względem wilgotności), to należy oczekiwać spadku stężenia dwutlenku węgla.

¹ AOT40 dla okresu maj-lipiec

² 60 dni w ciągu roku ze stężeniem $>120\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla maksymalnej średniej ośmiogodzinnej spośród średnich kroczących, obliczanych ze średnich jednogodzinnych w ciągu doby

Zanieczyszczenia opadów

Skład chemiczny opadów kształtowany był przez wiele zmiennych z roku na rok czynników. W tabeli 5 przedstawiono średnie roczne (obliczone jako średnie ważone po wysokościach opadu) wartości stężenia badanych składników opadów wraz z odchyleniem standardowym (obliczonym dla średnich ważonych).

Tabela 5. Średnie roczne wartości stężenia głównych składników badanych w opadach w poszczególnych latach i wieloleciu 1994-2004.

Rok		S-SO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	pH	H	przew
		[mg/dm ³]									[μg/dm ³]	[mS/m]
1994	średnia	1.03	0.61	0.71	0.76	0.39	0.08	0.23	0.48	4.38	41.5	2.8
	odch. stand.	1.65	1.10	1.04	1.58	0.79	0.17	0.67	1.44	4.40	40.1	2.5
1995	średnia	0.85	0.46	0.67	0.78	0.30	0.07	0.29	0.30	4.46	35.1	2.0
	odch. stand.	1.55	0.95	1.26	2.30	0.56	0.17	0.96	0.83	4.32	47.7	2.9
1996	średnia	0.89	0.49	0.71	0.62	0.20	0.07	0.35	0.42	4.43	37.1	2.0
	odch. stand.	1.17	0.76	1.27	1.55	0.54	0.14	0.78	0.79	4.39	40.4	1.9
1997	średnia	0.64	0.54	0.57	0.83	0.31	0.07	0.20	0.29	4.82	15.2	1.7
	odch. stand.	1.26	1.19	1.37	2.05	0.67	0.12	0.50	0.50	4.51	30.9	2.1
1998	średnia	0.69	0.42	0.46	0.50	0.22	0.06	0.14	0.25	4.73	18.6	1.7
	odch. stand.	0.82	0.69	0.85	1.04	0.53	0.09	0.40	0.42	4.48	32.7	2.0
1999	średnia	0.58	0.45	0.44	0.39	0.18	0.06	0.17	0.27	4.72	18.9	1.8
	odch. stand.	0.89	0.86	0.93	0.83	0.37	0.09	0.40	0.44	4.58	26.2	1.6
2000	średnia	0.61	0.49	0.53	0.73	0.28	0.06	0.23	0.17	4.41	38.8	2.4
	odch. stand.	0.84	0.74	0.93	1.50	0.59	0.14	0.39	0.38	4.33	47.0	2.1
2001	średnia	0.63	0.39	0.55	0.40	0.11	0.05	0.13	0.22	4.72	18.9	1.9
	odch. stand.	0.92	0.85	1.03	0.57	0.25	0.09	0.30	0.41	4.60	25.4	1.8
2002	średnia	0.53	0.42	0.49	0.56	0.25	0.06	0.10	0.28	4.77	17.0	1.6
	odch. stand.	0.66	0.58	0.68	1.08	0.63	0.08	0.18	0.40	4.44	36.6	1.8
2003	średnia	0.51	0.38	0.49	0.45	0.19	0.05	0.13	0.22	4.83	14.7	1.4
	odch. stand.	0.98	0.63	0.97	1.22	0.68	0.12	0.64	0.51	4.61	24.4	1.2
2004	średnia	0.49	0.38	0.45	0.44	0.17	0.05	0.12	0.21	4.72	19.2	1.4
	odch. stand.	0.65	0.61	0.91	0.85	0.31	0.07	0.21	0.41	4.47	33.5	1.1
1994-2004	średnia	0.68	0.45	0.55	0.58	0.24	0.06	0.19	0.28	4.61	24.6	1.9
	odch. stand.	1.10	0.85	1.04	1.43	0.56	0.12	0.54	0.68	4.45	35.8	2.0

tendencję spadkową (ryc.18). Na początku tego okresu (szczególnie w roku 1994) stężenie większości składników opadów osiągało największe wartości.

Tabela 6. Sumaryczne ładunki głównych składników wniesione z opadami do podłoża w poszczególnych latach i wieloleciu 1994-2004.

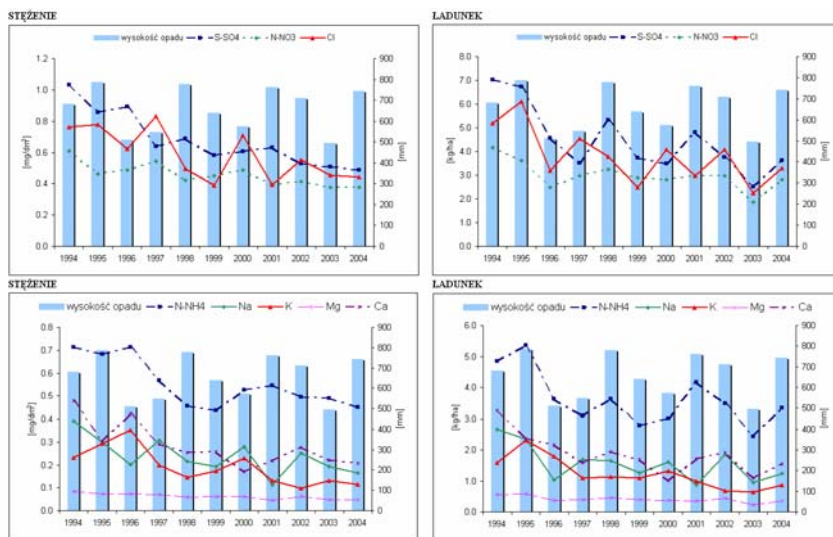
Rok	S-SO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	H
	[mg/m ²]								[mg/m ²]
1994	703.1	410.9	478.1	484.4	260.3	55.0	156.2	318.4	23.6
1995	665.3	358.2	522.1	599.2	227.8	55.5	222.6	230.0	25.4
1996	455.8	248.7	363.3	309.2	102.4	36.6	178.2	213.4	18.7
1997	350.5	297.2	310.7	443.9	167.7	37.7	106.9	156.3	8.3
1998	535.1	312.5	337.5	359.1	159.5	44.7	108.4	178.8	14.4
1999	370.4	282.1	270.7	243.5	113.9	36.6	103.1	170.8	11.9
2000	348.5	273.8	302.1	387.3	158.7	35.3	128.2	96.2	22.1
2001	481.5	285.9	399.4	283.6	81.3	32.8	94.5	156.0	14.1
2002	375.6	285.9	340.0	380.9	168.4	41.9	66.4	189.3	11.9
2003	251.9	184.3	240.7	221.6	92.4	22.5	62.6	107.3	7.2
2004	361.8	279.0	332.5	328.0	117.9	34.0	84.6	151.4	14.2
1994-2004	4910.8	3219.0	3897.7	4051.5	1652.6	432.7	1313.5	1967.8	171.8

rocznych ładunków (ryc.18). Tendencja spadkowa była zachwiana w latach szczególnie bogatych w opady (1998, 2001). Jednak w roku 2003 ładunki większości składników były najmniejsze w analizowanym 11-leciu, głównie za sprawą wystąpienia jednych z najmniejszych wartości stężenia, co dodatkowo zostało wzmocnione faktem, że rok ten był najsuchszy.

Na podstawie wartości średnich stężeń badanych składników i sumarycznych wysokości opadów obliczono wielkości ładunków zanieczyszczeń wniesionych do podłoża z opadami w poszczególnych latach i wieloleciu 1994-2004 (tabela 6).

W okresie 1994-2004 największe roczne sumy opadów występowały w latach hydrologicznych 1995, 1998, 2001 i 2004. Najsuchsze były lata 1996, 2000 i 2003. Średnie roczne stężenia większości zanieczyszczeń badanych w opadach wykazywały w analizowanym wieloleciu miały średnie roczne wartości stężenia jonów amonowych i potasu. W przypadku tych zanieczyszczeń maksymalne wartości wystąpiły w latach 1995-1996.

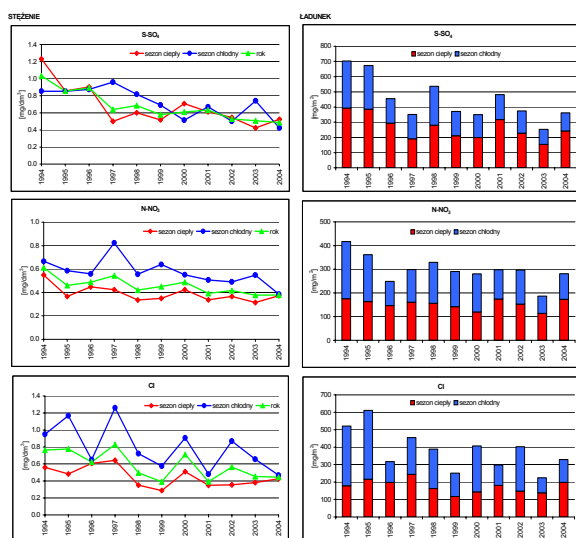
Wielkości sumarycznych ładunków zanieczyszczeń wniesionych do podłoża z opadami były kształtowane zarówno przez wielkość stężenia, jak i wysokość opadu. Generalnie można jednak stwierdzić, że zmniejszanie stężenia badanych składników wpłynęło decydująco na zmniejszanie wielkości



Ryc.18. Średnie roczne wartości stężeń i ładunków głównych składników opadów w poszczególnych latach

Aniony

Zanieczyszczenia opadów nie wykazują tak wyraźnych zmian sezonowych, jakie można obserwować w przypadku omawianych wcześniej zanieczyszczeń powietrza. Zmiany sezonowe są natomiast typowe dla wysokości opadów – w większości analizowanych lat obserwowano dominację opadów w ciepłej połowie roku nad opadami w chłodnym sezonie. Nieco niższe wartości stężenia występujące na ogół w miesiącach letnich są kompensowane większymi sumami wysokości opadów.



Ryc. 19. Średnie wartości stężenia i sumaryczne wartości ładunków anionów w sezonach

Przebiegi wartości średnich stężenia jonów siarczanowych dla sezonu ciepłego i chłodnego były bardzo zmienne i przeplatające się – w niektórych latach dominowały wartości z sezonu chłodnego, w innych z sezonu ciepłego (ryc.19). Natomiast ładunki były we wszystkich latach wyższe w ciepłym półroczu (efekt przewagi opadów ciepłego półroczu). Sumaryczne roczne ładunki odzwierciedlały w większym stopniu wahania rocznych sum opadów niż rozkład stężenia. Nieco inaczej zachowywały się azotany : we wszystkich latach bardzo wyraźnie dominowały stężenia z chłodnego półroczu. Wobec tego ładunki wniesione do podłoża w sezonie chłodnym i ciepłym były bardzo do siebie zbliżone; zdarzały się lata, w których były one większe w chłodnym okresie niż w

ciepłym. Wyraźnie zatem widać, że na kształt sumarycznego ładunku mają wpływ zarówno wielkości stężenia jak i wysokości opadów. Jeszcze wyraźniej obserwujemy to na przykładzie chlorków : średnie stężenia w sezonie chłodnym były w każdym roku wyższe niż w sezonie ciepłym. Różnice były na tyle istotne, że nie w każdym roku zostały zrekomensowane wysokością opadów. W większości lat opady chłodnego półroczu wniosły do podłoża więcej chlorków niż opady ciepłego półroczu.

W latach 1994-2004 opad deszczu, śniegu, gradu itp. wystąpił w mniej niż w połowie dni. Spośród opadów, które zanotowano w tym czasie na Stacji najczęściej miało dobową wysokość pomiędzy 1 a 4.9 mm i pomiędzy 0.1 a 0.9 mm. Najrzadziej spotykane były opady o dobowej sumie większej od 20 mm. Opady o małej dobowej wysokości były na ogół najbardziej zanieczyszczone – charakteryzowały się największymi wartościami stężenia badanych substancji, ale wniosły do podłoża najmniejsze ilości tych składników (ze względu na małą wysokość). Wraz ze wzrostem wielkości opadu spadało stężenie anionów.

Kationy

Podobnie, jak w przypadku anionów średnie roczne stężenia kationów wykazywały w tendencję spadkową, osiągając w ostatnich latach wartości mniejsze niż na początku wielolecia 1994-2004. Najbardziej znaczące spadki obserwowano dla jonów amonowych i wapnia. Najmniejszą zmienność z roku na rok obserwuje się w przypadku magnezu.



Ryc. 20. Średnie wartości stężenia i sumaryczne ładunki kationów w sezonach

Rozpatrując wartości średnie w sezonach (ryc.20) można stwierdzić, że we wszystkich latach stężenie wapnia w sezonie ciepłym było wyższe niż w sezonie chłodnym (jedynie w 1998 roku się zrównały). Tym samym ładunki wapnia wniesione do podłoża w ciepłym półroczu znacznie przewyższały te, które wniosły opady chłodnego półrocza. Dość podobnie przedstawiały się średnie sezonowe wartości stężenia potasu, chociaż zdarzały się lata, w których stężenie w sezonie chłodnym było wyższe lub bardzo zbliżone do stężenia z sezonu chłodnego. W roku 1998 i 2000 wystąpiły największe wartości stężenia w sezonie ciepłym, a jednocześnie rozbieżność między wartościami obserwowanymi w obu półroczach były największe. W większości lat ładunki K wniesione przez opady ciepłego sezonu były

większe od tych, które wniosły opady sezonu chłodnego. Jony amonowe i magnez osiągały wartości stężenia zbliżone w obu półroczach (poza NH_4 w latach 1995 i 1996), zatem zróżnicowanie ładunków w sezonie chłodnym i ciepłym zostało spowodowane głównie przez wysokości opadów – wartości były wyższe w półroczu ciepłym. Ze względu na wspólne źródło pochodzenia stężenia i ładunki sodu mają podobny przebieg, jak stężenia i ładunki chlorków. Dominują wartości sezonu chłodnego (w większości lat).

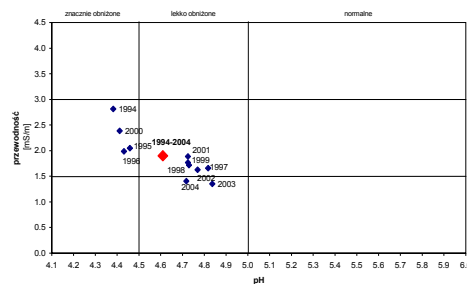
Dla większości kationów prawdziwa jest zasada, że wraz ze wzrostem sumy dobowej opadu spada stężenie składnika.

Odczyn i przewodność

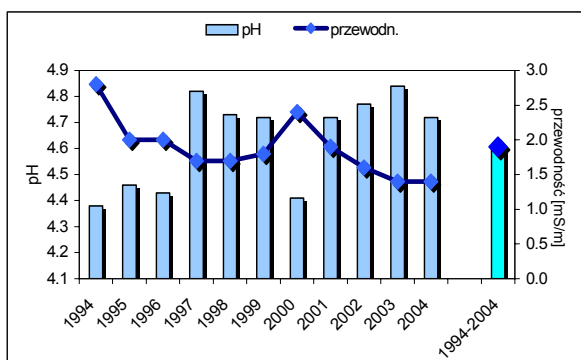
Odczyn badanych na Stacji Puszcza Borecka opadów na początku ciągłych pomiarów (1993-1996) był zaliczany do klasy „znacznie obniżony” (ryc.21). Do tej grupy dołączyły także opady z roku 2000. W następnych latach średnia roczna wartość odczynu opadów pozwalała je zaliczyć do klasy „lekkobniżony”. Średnie w wieloleciu 1994-2004 pH opadów (4,61) należy również do klasy „lekkobniżony”. Jednocześnie przewodność opadów we

wszystkich latach (oprócz 2003 i 2004) należała do klasy „lekkopodwyższona”. Rok 2003 był pierwszym, w którym średnia roczna wartość przewodności spadła do klasy, określanej mianem „nieznaczna”. Jest to dowodem, że ilość rozpuszczonych w wodzie opadowej składników spadała do takiego poziomu, że nie powodują zwiększania przewodności. Średnia w wieloleciu 1994-2004 przewodność opadów (1,9 mS/m) należy do klasy „lekkopodwyższona”.

Po początkowym okresie pomiarów, w którym opady były szczególnie kwaśne i średnia roczna wartość pH nie przekraczała 4,5, w roku 1997 zanotowano znaczący wzrost odczynu (ryc.22). Jednak w następnym roku pH opadów spadało tak znacznie, że w roku 2000 osiągnęło znow



Ryc. 21. Klasyfikacja opadów atmosferycznych w latach 1994-2004 (Jansen i In. 1988).

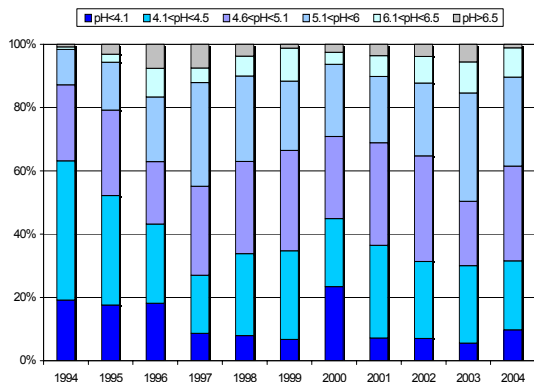


Ryc. 22. Średnie roczne wartości pH i przewodności opadów atmosferycznych w latach 1994-2004.

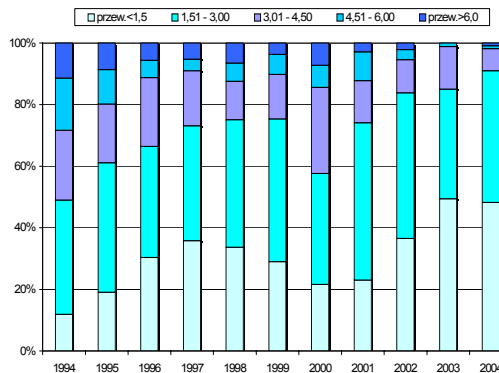
wartość nieznacznie niższą od odnotowanej w latach 1995-1996. Od tego roku, w którym nastąpiło tak znaczące zwiększenie kwasowości opadów, każdy kolejny rok przynosił poprawę. W rezultacie w 2003 roku średnia roczna wartość pH osiągnęła maksimum spośród wszystkich wartości (4,78). W roku 2004 znowu była mniejsza. Jednocześnie średnie roczne wartości przewodności elektrolitycznej właściwej opadów miały niemal odwrotny przebieg do przebiegu odczynu. W latach, w których odczyn wzrastał spadała przewodność i odwrotnie.

Generalnie w latach o najniższym odczynie występowało w opadach najwięcej rozpuszczonych substancji, zatem przewodność była największa.

W miarę upływu czasu zmniejszała się liczba próbek charakteryzujących się najmniejszymi wartościami pH (tendencja została zachwiana w roku 2000) a zwiększała się ilość próbek o wyższych wartościach odczynu (ryc.23). Największy przyrost zanotowano w przedziale odczynu 5,1 – 6,0. Wahania ilości próbek o najwyższych wartościach pH (>6,5) należy wiązać z wdrażaniem procedur kontroli jakości – zwykle pH w granicach 7 jest świadectwem zanieczyszczenia próbki i wyniki te były eliminowane z bazy danych.



Ryc. 23. Udział procentowy opadów o odczynie w określonych przedziałach.



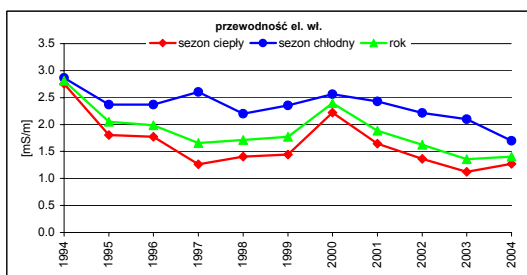
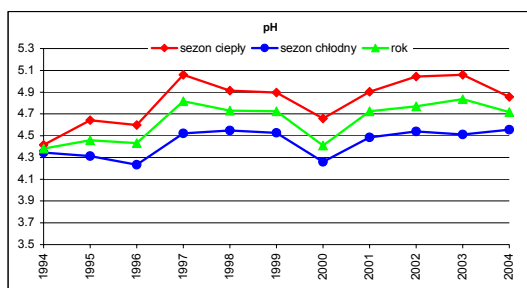
Ryc. 24. Udział procentowy opadów o przewodności w określonych przedziałach.

Od roku 1995 ilości próbek o pH w przedziałach 4.1 – 4.5 i 4.6 – 5.1 były do siebie zbliżone a dodatkowo mało się zmieniały z roku na rok. Na zmiany średnich wartości z roku na rok największy wpływ miały ilości próbek o najniższych i najwyższych wartościach i wzajemne ich relacje. W latach o najniższych wartościach średnich odczynu występowało najwięcej próbek o wartościach pH mniejszych od 4.1 (około 20% w latach 1994 i 2000). W roku 2003 o największym średnim rocznym odczynie opadów zdecydowało zwiększenie liczebności próbek o pH wyższym od 5.1 do 50%. W roku 2004 ponownie wzrósł udział próbek dobowych o najniższych wartościach odczynu (próbki o pH<4,1 stanowiły 10%).

W kolejnych latach obserwuje się przesunięcie liczebności pH w poszczególnych przedziałach w stronę wyższych wartości, jak również spłaszczenie histogramów wskutek zmniejszenia liczebności niższych przedziałów i przenoszenie wyników do przedziałów o wyższych wartościach. Taki układ jest najbardziej widoczny, gdy porównuje się histogramy pH z roku 1994 i 2003.

W przypadku przewodności w miarę upływu lat obserwuje się zmniejszanie udziału próbek o wartościach z dwóch najwyższych klas (4,51-6,00 mS/m „mocno podwyższone” i >6,00 mS/m „bardzo silnie podwyższona”). W dwóch ostatnich latach próbki o przewodności z tych klas praktycznie zanikły (ryc.24). W latach 1994-2002 dominowały próbki o przewodności 1,51-3,00 mS/m, czyli w klasie lekko podwyższone. Od roku 2003 zaznaczyła się dominacja próbek z klasy przewodności „nieznaczna” (<1,5 mS/m). Stanowiły one blisko połowę wszystkich próbek opadów atmosferycznych zebranych w ogródku meteorologicznym Stacji. W 1994 roku 50% wszystkich próbek stanowiły te, których przewodność zaliczana była do obydwu najniższych klas – „nieznaczna” i „lekko podwyższona”. W roku 2004 do tych dwóch klas należało ponad 90% próbek. Świadczy to – wraz ze zmniejszaniem stężeń badanych składników - o stopniowym zmniejszaniu zawartości w opadach substancji wymywanych z atmosfery.

Analiza średnich wartości odczynu w sezonie ciepłym i chłodnym wskazuje, że wartości wyższe były notowane w miesiącach ciepłych, a niższe w chłodnych (ryc.25).



Ryc. 25. Średnie sezonowe wartości odczynu i przewodności opadów

Ale poza rokiem 1994 (gdy nie obserwowano różnic pomiędzy wartościami średnimi dla sezonów) proporcje tych wartości do siebie nawzajem i wartości średniej rocznej były niemal identyczne we wszystkich latach. Zbliżeniu uległy w roku 2004, przy podobnej proporcji, jak w 1995, ale na wyższym poziomie wartości. Jest to jedyny spośród badanych parametrów, który charakteryzuje się takim przebiegiem wartości średnich sezonowych.

W przypadku przewodności obserwuje się większe wartości w sezonie chłodnym niż w sezonie ciepłym we wszystkich latach hydrologicznych. Ponadto zmienność przewodności w sezonie ciepłym była większa niż w sezonie chłodnym i to zmiany w cieplej porze roku miały większy wpływ na kształtowanie wartości średnich rocznych.

Zarówno odczyn opadów jak i przewodność są parametrami zależnymi od wysokości opadów,

podobnie jak stężenia zanieczyszczeń. Opady o najmniejszych sumach dobowych (0.1 – 0.9 mm) zawierały najwięcej rozpuszczonych składników, co wiązało się z największą wartością przewodności. Były to jednak opady najbardziej kwaśne (o średnim pH nieco powyżej 4.3). Opady o dobowych sumach wysokości przekraczających 20 mm należały do klasy o pH lekko obniżonym (na samym początku tej klasy, gdyż średnia wartość odczynu nieco przekroczyła 4.6). Do tej klasy również da się zaliczyć opady z przedziału wysokości 10 – 19.9 mm. Pozostałe należą do klasy opadów o znacznie obniżonym pH.

Chemizm opadów podkoronowych i spływ po pniach

Część opadów atmosferycznych padających na terenie leśnym przepływa przez korony drzew (tę część reprezentują próbki opadów podkoronowych), a część spływa po pniach drzew (reprezentują ją próbki spływu po pniach). Rok hydrologiczny 2004 był pierwszym pełnym rokiem badania opadów podkoronowych i spływu po pniach na powierzchni 005. Zatem w niniejszym rozdziale zaprezentowano jedynie wyniki pochodzące z tego jednego roku. Stanowiska do zbierania opadów podkoronowych i spływu po pniach umieszczono pod świerkiem, grabem i dębem.

Wyniki oznaczeń składników w próbkach opadów podkoronowych zbieranych pod poszczególnymi gatunkami drzew uśredniono, uzyskując wartości średnie ważone po wielkościach opadów pod drzewami (miesięczne, roczne) dla badanego drzewostanu. Zbierane i analizowane były zlewane próbki miesięczne opadów.

W tabeli 7 zaprezentowano średnie roczne wartości stężenia badanych składników oraz maksymalne i minimalne wartości stężenia zarejestrowane w próbkach miesięcznych.

Tabela 7. Średnie roczne wartości stężenia składników badanych w opadach podkoronowych oraz maksymalne i minimalne wartości w próbkach miesięcznych. 2004.

Rok		S-SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	pH	H	przew
		[mg/dm ³]									[μg/dm ³]	[mS/m]
2004	średnia	1.71	1.61	0.703	1.99	0.74	3.07	0.51	5.68	5.04	9.19	6.21
	max	3.13	3.51	1.900	4.35	1.66	5.60	0.91	12.32	6.95	34.5	11.43
	min	0.93	1.02	<0.010	0.82	0.34	1.37	0.33	1.32	4.46	0.1	4.06

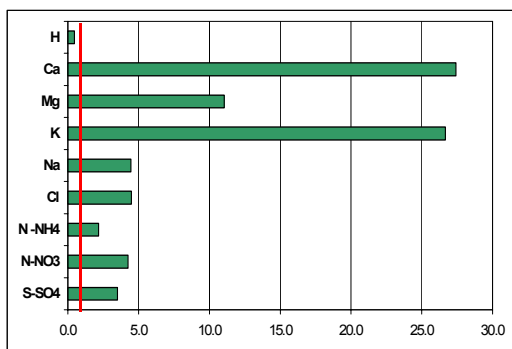
Na podstawie uzyskanych wyników obliczono wartości ładunków wniesionych z opadami podkoronowymi do ziemi na leśnej powierzchni badawczej (tabela 8).

Tabela 8. Roczne wartości wysokości opadów i ładunków składników badanych w opadach podkoronowych oraz maksymalne i minimalne wartości miesięczne. 2004.

Rok		h	S-SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	H
		[mm]	[mg/m ²]								
2004	suma	583.9	996.2	941.8	410.8	1161.6	430.2	1792.7	297.7	3315.7	5.37
	max	104.0	159.1	168.7	103.3	236.3	68.0	482.4	63.7	1281.6	1.56
	min	2.2	53.1	39.9	0.4	57.5	26.8	42.1	15.3	59.4	0.01

Roczna suma opadów pod drzewami była o 21% mniejsza niż w ogródku meteorologicznym, a przebieg sum miesięcznych nie odbiegał od przebiegu na otwartej przestrzeni. Najwięcej opadów w lesie notowano w czerwcu, najmniej zaś w kwietniu. Różnica sum miesięcznych była większa w sezonie ciepłym niż w chłodnym, głównie za sprawą parowania próbek, jak również większej efektywności zatrzymywania opadów przez drzewa liściaste w okresie pełnego ulistnienia.

Skład chemiczny opadów jest modyfikowany po przejściu wody opadowej przez korony drzew, w sposób zależny od rodzaju drzewostanu i pory roku. Generalnie można stwierdzić, że opady po przejściu przez korony drzew ulegają wzbogaceniu w składniki wskutek zmywania zanieczyszczeń osiadłych na liściach i igłach drzew wskutek suchej depozycji lub wmywania składników z organów asymilacyjnych.



Ryc. 26. Współczynniki koncentracji dla składników badanych w opadach podkoronowych. 2004.

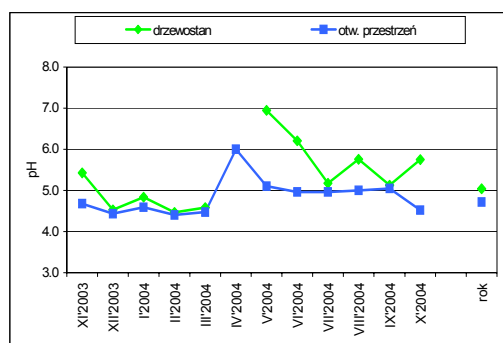
Ładunki wniesione do podłoża przez opady po przejściu przez korony drzew były dla większości jonów znacząco większe niż ładunki wniesione na otwartej przestrzeni. Dla większości składników badanych w opadach pochodzących ze stanowisk zlokalizowanych pod drzewami odnotowano mniej lub bardziej znaczące różnice pomiędzy stężeniem w miesiącach zimowych (większe wartości) a stężeniem w miesiącach letnich. Prawidłowość ta nie dotyczy związków azotu.

Dla każdego badanego składnika obliczono współczynniki koncentracji

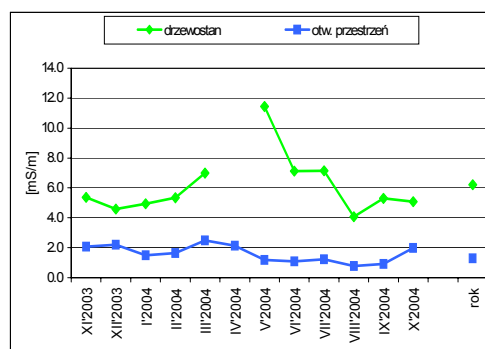
określone jako stosunek stężenia danego składnika w opadzie podkoronowym pod danym drzewostanem do stężenia tego składnika w opadzie na otwartej przestrzeni. Na rycinie 26 zaprezentowano współczynniki koncentracji dla wartości średnich rocznych stężenia głównych składników. Linią zaznaczono współczynnik równy 1, odpowiadający równym wartościom stężenia w opadach leśnych i opadach na otwartej przestrzeni.

W wartościach współczynnika koncentracji zaznaczają się wyraźnie różnice pomiędzy badanymi składnikami. Wartości równej 1 nie przekroczył współczynnik koncentracji jonów wodorowych, a najmniej przekroczył ją współczynnik koncentracji jonów amonowych. Największe wartości zanotowano dla wapnia (27), potasu (27) i magnezu (11).

W przypadku siarczanów większe wartości współczynnika występowały w próbach pobranych w sezonie chłodnym; w przypadku azotanów – odwrotnie, a dla chlorków nie zaobserwowano w 2004 roku wyraźnego sezonowego przebiegu współczynnika koncentracji. W przypadku kationów największe wzbogacenie dotyczyło wapnia i potasu, przy czym większe wartości współczynnika koncentracji dla tych składników obserwowane były w sezonie ciepłym. Dla pozostałych kationów większe wzbogacenie miało miejsce w miesiącach zimowych. Najmniejsze wzbogacenie opadów po przejściu przez korony drzew dotyczyło jonów wodorowych – jedynie dla pojedynczych prób zebranych pod drzewami stężenie H^+ było większe niż w próbach pochodzących z otwartej przestrzeni, co odzwierciedla relacje pomiędzy odczynem próbek zebranych na różnych stanowiskach pomiarowych. Dla wielu próbek współczynniki koncentracji jonów amonowych nie przekroczyły wartości 1.0 lub były jej bliskie, co nie zdarzało się w przypadku innych kationów (poza H^+).



Ryc. 27. Odczyn opadów podkoronowych w 2004 roku.



Ryc. 28. Przewodność opadów podkoronowych w 2004 roku.

Opady zbierane pod drzewostanem charakteryzowały się większymi wartościami odczynu niż opady z otwartej przestrzeni. W przebiegu średnich wartości pH widać wyraźne zmiany sezonowe – w ciepłym półroczu wartości były znacząco większe niż w chłodnym, przy czym

zmiany te były bardziej widoczne dla próbek zbieranych w lesie niż dla pochodzących z punktu pomiarowego na otwartej przestrzeni (ryc. 27). Na taką sytuację może mieć wpływ różnica w okresie pobierania próbek (dobowe na otwartej przestrzeni, miesięczne zlewane w lesie), jak również większe prawdopodobieństwo zanieczyszczenia próbek zbieranych w lesie (liście, owady itp.).

Przebieg średnich wartości przewodności opadów (ryc.28) charakteryzował się małą zmiennością dla próbek zebranych na otwartej przestrzeni i większą dla próbek pochodzących z lasu, z większymi wartościami dla próbek spod drzew niż z otwartej przestrzeni. Wartości największe występowały w sezonie wiosennym, najmniejsze zaś zimą. W ciepłych miesiącach różnice przewodności były największe – przewodność próbek spod drzew była 5-krotnie większa niż na otwartej przestrzeni (największa w maju). W próbkach zebranych pod drzewami średnia roczna wartość przewodności była 3-krotnie większa niż na otwartej przestrzeni.

Stanowiska do zbierania próbek spływu umieszczono na świerkach, grabach i dębach, czyli

Tabela 9. Średnie roczne wartości stężenia składników badanych w spływach po pniach drzew oraz maksymalne i minimalne wartości w próbkach miesięcznych. 2004.

gatunek drzewa		S-SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	pH	H	przew
		[mg/dm ³]									[μg/dm ³]	[mS/m]
świerk	średnia	9.92	1.12	1.832	12.32	5.22	8.88	2.03	12.87	3.85	141.84	21.1
	max	23.90	7.62	12.500	21.30	8.03	13.40	4.24	23.62	6.36	213.8	33.9
	min	3.62	0.31	0.299	6.80	3.52	5.64	0.96	6.51	3.67	0.4	12.1
grab	średnia	3.62	0.49	0.476	2.48	0.87	7.40	0.73	4.12	5.28	5.25	6.2
	max	8.22	2.40	1.073	5.03	1.53	11.91	1.19	5.99	5.83	42.7	10.6
	min	0.52	<0.09	0.106	0.68	0.31	3.56	0.19	1.28	4.37	1.5	3.1
dąb	średnia	16.60	0.56	0.633	5.75	2.16	29.51	2.54	12.45	4.10	78.75	22.9
	max	24.50	2.12	10.700	17.60	2.95	56.84	3.36	18.27	6.75	138.0	30.5
	min	2.29	0.92	0.095	3.18	0.74	8.55	0.52	2.75	3.86	0.2	7.6

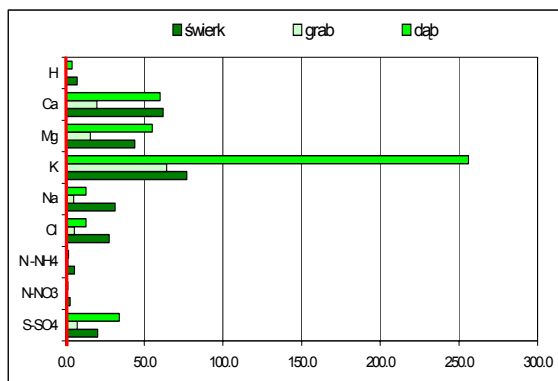
na drzewach należących do tych samych gatunków, pod którymi zbierane były próbki opadów podkoronowych. Zbierane były zlewane próbki miesięczne spływów. W tabeli 9 przedstawiono średnie roczne wartości stężenia badanych składników w spływach po pniach drzew każdego z badanych gatunków oraz maksymalne i minimalne wartości stężenia zarejestrowane w próbkach miesięcznych.

Przy porównaniu wyników badania stężenia głównych jonów w próbkach spływu po pniach i w próbkach opadów na otwartej przestrzeni widoczne są następujące zależności :

- wielkości stężenia w wodzie spływającej po pniach były większe (poza częścią przypadków stężenia związków azotu) niż w opadach na otwartej przestrzeni,
- najmniejsze i najmniej zmienne z miesiąca na miesiąc były wartości stężenia jonów w spływie po pniach grabów,
- dla większości składników (poza jonami amonowymi i potasem) widoczne były wyraźne przebiegi sezonowe : większe wartości wystąpiły w sezonie chłodnym, gdy drzewa były pozbawione liści, a mniejsze w sezonie ciepłym w wodzie spływającej po pniach grabów,
- najbardziej zmienne z miesiąca na miesiąc były wartości stężenia (głównie SO₄, Cl, Mg i Ca) w wodzie spływającej po pniach dębów i świerków, jedynie w przypadku sodu wartości stężenia w wodzie spływającej po pniach drzew liściastych były zbliżone, a po pniach świerka znacząco większe, jedynie w przypadku potasu i azotanów widoczne jest podobieństwo przebiegów i wartości stężenia w spływach po pniach grabu i świerka,
- najbardziej zbliżone do siebie były przebiegi stężenia azotu azotanowego w spływach po pniach wszystkich badanych gatunków drzew; dla pozostałych składników przebiegi były bardzo różne w zależności od gatunku drzewa.

Podobnie, jak w przypadku opadów podkoronowych, także dla spływów po pniach drzew obliczono współczynnik koncentracji jako stosunek stężenia danego składnika w wodzie spływającej po pniach do stężenie tego składnika w opadzie na otwartej przestrzeni. Na ryc. 29 pokazano wartości współczynników koncentracji, określone dla średnich rocznych wartości stężenia głównych składników badanych w spływie po pniach. Największy wzrost stężenia w spływach po pniach obserwuje się w próbkach zebranych na dębie i świerku. Szczególnie widoczne jest wzbogacenie dla kationów, a największe dotyczyło potasu i wapnia. Dla większości kationów (poza NH₄) większe wzbogacenie miało miejsce w miesiącach zimowych.

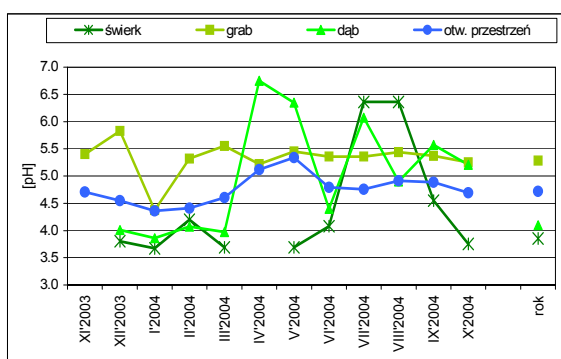
Najmniejsze wzbogacenie opadów po przejściu przez korony i spłynięciu po pniach drzew dotyczyło jonów wodorowych – jedynie dla większości prób zebranych na świerku i dębie stężenie jonów wodorowych było większe niż w próbach pochodzących z otwartej przestrzeni, co odzwierciedla relacje pomiędzy odczynem próbek zebranych na różnych stanowiskach pomiarowych. W przypadku siarczanów większe wartości współczynnika występowały w próbach pobranych w sezonie chłodnym. Dla azotanów sytuacja była różna w zależności od gatunku drzewa : w sezonie chłodnym wystąpiły większe wartości



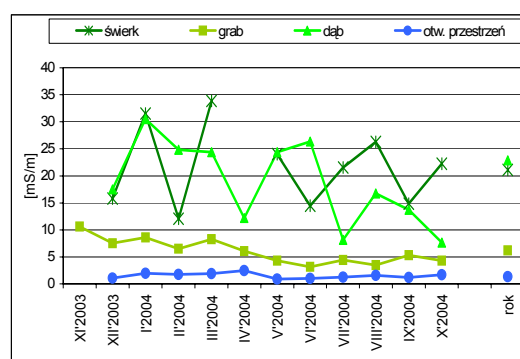
Ryc. 29. Współczynniki koncentracji dla składników w spływach po pniach

współczynnika dla grabów i świerków, a w sezonie ciepłym dla dębów. Jedynie dla azotanów zdarzały się przypadki, gdy wartość współczynnika koncentracji nie osiągnęła 1.0. W przypadku chlorków nie zaobserwowano sezonowego przebiegu współczynnika koncentracji dla świerków i grabów, a dla spływu po pniach dębów w ciepłym sezonie odnotowano większe wartości. Dla większości badanych kationów największe wzbogacenie opadów miało miejsce po przejściu przez korony i spłynięciu po pniach świerka, natomiast dla gatunków liściastych zarówno wartości, jak i sezonowe przebiegi współczynników koncentracji były bardzo zbliżone do

siebie. Średnia roczna wartość odczynu spływu po pniach grabów była wyższa niż średni roczny odczyn opadów na otwartej przestrzeni. Dla dębów i świerków wartości były niższe. W przebiegu wartości pH widać wyraźne zmiany sezonowe dla spływu po pniach świerka i dębu, a niemal nie wystąpiły one w przebiegu pH spływów po pniach grabów (ryc.30). Dynamika zmian odczynu próbek spływu po pniach świerków i dębów zebranych w lesie była dużo większa niż w przypadku próbek opadów zbieranych w ogródku meteorologicznym, na otwartej przestrzeni i próbek spływów po pniach grabów. Widać, że w kształtowaniu odczynu spływu po pniach mniejszą rolę odgrywa fakt czy badane drzewo należy do gatunków liściastych czy iglastych (co było wyraźne dla opadów podkoronowych).



Ryc. 30. Odczyn spływów po pniach drzew. 2004.



Ryc. 31. Przewodność spływów po pniach drzew. 2004.

Najmniejsze wartości przewodności zanotowano dla opadów na otwartej przestrzeni (1,3 mS/m), a następnie dla spływów po pniach grabów (ponad 4 razy wyższa wartość średnia roczna – 6,2 mS/m). Oba przebiegi wykazują niewielką zmienność z miesiąca na miesiąc (ryc.31). Wartości przewodności wynoszące ponad 20 mS/m były charakterystyczne dla spływów po pniach dębów i świerków (średnie roczne odpowiednio 23 i 21 mS/m). Z miesiąca na miesiąc w przebiegach wartości przewodności spływów po pniach tych dwóch gatunków drzew obserwowane były skokowe zmiany. Dla spływów po pniach drzew liściastych zanotowano mniejsze wartości przewodności w sezonie letnim niż w zimowym.

Siarka i metale ciężkie w porostach

Porost *Hypogymnia physodes* - *Pustułka pęcherzykowata* jest wykorzystywany jako biowskaźnik do oceny zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki i metalami ciężkimi. W badaniach wykorzystano plechy występujące w naturalnym środowisku.

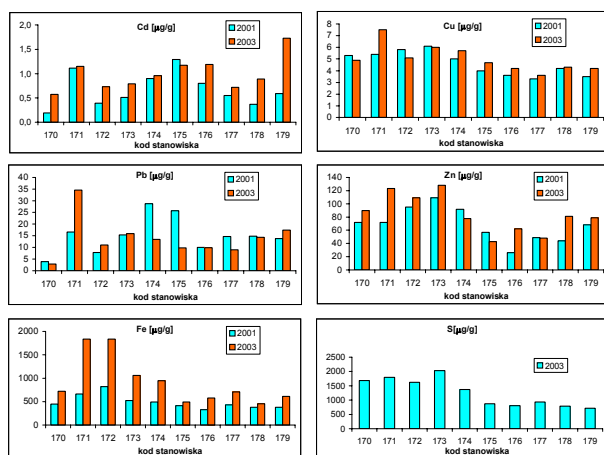
Zbiór próbek porostów wykonywano według metodyki opisanej w Zasadach organizacji... (ZMŚP. Zasady organizacji... 1995).

Na każdej powierzchni Stacji co 2 lata od roku 2001 zbierano plechy porostu *Hypogymnia physodes*. Zbioru porostu dokonywano w tym samym terminie we wszystkich siedmiu Stacjach Bazowych. Próby zbierane były w lipcu, ze świerka, z wysokości 1,5 – 2 m nad ziemią. Miejsce zebrania próby jest dokładnie zaznaczone na mapie obejmującej powierzchnię Stacji. Ponieważ ocena ma dotyczyć próby wychwycenia zanieczyszczeń docierających do terenu Stacji z różnych źródeł zewnętrznych, próby porostów zbierano na obrzeżu Stacji i w jej centrum.

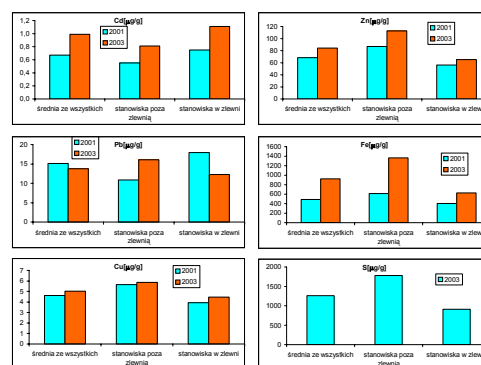
Zawartość metali ciężkich i siarki w mikrogramach na gram suchej masy plech przedstawiona została w tabeli 10 a na ryc.32 pokazano ją na wykresach. Na ryc.33 pokazano średnie wartości stężeń w latach 2001 i 2003 na wszystkich stanowiskach stacji, na stanowiskach w zlewni jeziora Łęku oraz na stanowiskach poza nią.

Tabela 10. Stężenia metali ciężkich w plechach porostu *Hypogymnia physodes* – pustułka pęcherzykowata.

2001						2003						
Nr stanowiska	Cd [µg/g]	Pb [µg/g]	Cu [µg/g]	Zn [µg/g]	Fe [µg/g]	Nr stanowiska	Cd [µg/g]	Pb [µg/g]	Cu [µg/g]	Zn [µg/g]	Fe [µg/g]	S [µg/g]
170	0,2	3,8	5,3	72,0	448,0	170	0,6	2,9	4,9	90,0	722,0	1681,0
171	1,1	16,6	5,4	72,0	664,0	171	1,2	34,5	7,5	123,0	1836,0	1800,0
172	0,4	7,8	5,8	95,0	823,0	172	0,7	11,0	5,1	109,0	1836,0	1624,0
173	0,5	15,3	6,1	109,0	522,0	173	0,8	15,9	6,0	128,0	1061,0	2027,0
174	0,9	28,7	5,0	92,0	495,0	174	1,0	13,4	5,7	78,0	945,0	1373,0
175	1,3	25,7	4,0	57,0	413,0	175	1,2	9,8	4,7	43,0	492,0	872,0
176	0,8	10,0	3,6	26,0	328,0	176	1,2	9,9	4,2	62,0	579,0	801,0
177	0,6	14,7	3,3	49,0	431,0	177	0,7	9,0	3,6	48,0	706,0	933,0
178	0,4	14,8	4,2	44,0	377,0	178	0,9	14,3	4,3	81,0	451,0	790,0
179	0,6	13,7	3,5	68,0	381,0	179	1,7	17,3	4,2	79,0	610,0	713,0
średnia ze wszystkich	0,7	15,1	4,6	68,4	488,2	średnia ze wszystkich	1,0	13,8	5,0	84,1	923,8	1261,4
stanowiska poza zlewnią	0,6	10,9	5,7	87,0	614,3	stanowiska poza zlewnią	0,8	16,1	5,9	112,5	1363,8	1783,0
stanowiska w zlewni	0,8	17,9	3,9	56,0	404,2	stanowiska w zlewni	1,1	12,3	4,5	65,2	630,5	913,7



Ryc.32. Stężenie metali ciężkich i siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes* – pustułka pęcherzykowata w latach 2001 i 2003



Ryc.33. Średnie stężenie metali ciężkich i siarki na wszystkich stanowiskach, na stanowiskach w obrębie zlewni i poza nią

Stanowiska 170 – 173 zlokalizowano w granicach zlewni jeziora Łęku natomiast stanowiska 174 – 179 poza tymi granicami. Najodleglejsze stanowisko 170 położone jest 15 km w linii prostej na zachód od Diablej Góry.

Na tej ostatniej rycinie zaobserwować można, iż zawartość kadmu w roku 2003 była wyższa o 30 – 40% od zawartości w roku 2001 zarówno w skali wszystkich stanowisk w Stacji jak również na stanowiskach wewnątrz zlewni jeziora Łękuk oraz poza tą zlewnią. Podobna sytuacja, lecz mniejsze różnice pomiędzy latami wystąpiły w przypadku zawartości cynku, żelaza i miedzi. Jedynie na stanowiskach poza zlewnią wystąpił w większej ilości w roku 2003 niż w 2001 natomiast na stanowiskach w granicach zlewni czyli na stanowiskach odleglejszych od szlaków komunikacyjnych było go w roku 2003 mniej niż w roku 2001. Zawartość siarki w plechach, oznaczona jedynie w próbkach pobranych w roku 2003, na stanowiskach poza zlewnią była wyższa niż na stanowiskach w granicach zlewni.

Wody podziemne

Można przyjąć, że na omawianym terenie wokół Stacji istnieje generalnie pięć poziomów wodonośnych, z których dwa najwyższe, reprezentowane przez studnie o głębokości 5 m (Nr 152) i głębokości 32m (155), biorą udział w obiegu wody w zlewni jeziora Łękuk.

Pomiary głębokości zwierciadła wód studni nr 155 prowadzono od roku hydrologicznego 1997, natomiast badania składu chemicznego – od roku 1995. Monitorowanie studni 152 rozpoczęto w pod koniec 2003 roku.

Z analizy danych pomiarowych przedstawionych w tabeli 11 wynika, że średnia roczna

Tabela 11. Średnie roczne głębokości zwierciadła wód podziemnych [m]

Lp	Nr studni	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1	155	14.18	13.79	13.77	13.88	14.14	13.79	14.26	14.06
2	152	-	-	-	-	-	-	3.41	2.88

głębokość zwierciadła wody studni 155 wyniosła 13,98 m, a jej amplituda zmian - 49 cm. Najniższe poziomy wód studni 155 (a także 152) wystąpiły w roku 2003, charakteryzującym się najniższymi opadami zimowymi (XI-IV) i letnimi

(V-X) w badanym wieloleciu.

W ciągu roku obserwowana jest sezonowa zmienność poziomu zwierciadła wód podziemnych. Jak należało oczekiwać, w chłodnej połowie roku przeważały procesy wzrostu poziomu zwierciadła wód, natomiast w ciepłej połowie – procesy spadku poziomu. Jak wynika z analizy danych, sumaryczne opady zimowe (w chłodnej połowie roku) miały istotny wpływ na średni roczny poziom wód podziemnych (współczynnik korelacji - 0.77), znacznie większy wpływ niż sumarycznych opadów letnich (wsp. korelacji - 0.03). Przyjmując, że w najbliższych latach opady zimowe będą maleć, to należy oczekiwać spadku poziomu zwierciadła wód podziemnych, na co wskazują dotychczasowe wyniki pomiarów.

Należy podkreślić, że zaobserwowane w 2003 roku najniższe stany wód podziemnych miały niekorzystny wpływ na warunki wodne i wilgotnościowe w podtopionych zwykle bagiennych obniżeniach i zagłębieniach terenu, pogarszając warunki bytowania zwierzyny na terenie Puszczy Boreckiej.

Wody podziemne, występujące w warstwie przypowierzchniowej zlewni jeziora Łękuk są typowymi dla środowiska glacialnego, którego głównymi rozpuszczonymi składnikami są kwaśne węglany wapnia (CaHCO_3) i w dalszej kolejności: Ca, Mg, SO_4 , Na, Cl, K, NO_3 i NH_4 . Wody podziemne, dość wysoko zmineralizowane, należą do typu hydrochemicznego wodorowęglanowo wapniowo magnezowego. Wyniki badań dwóch studni z wodami na różnych poziomach wodonośnych i podlegających znacząco różnej antropopresji wskazują na pewne istotne różnice w składzie chemicznym, będące świadectwem zachodzących zmian antropogenicznych w wodach studni 152. Wody studni głębszej (155) wykazują się znacznie większą zawartością azotu amonowego, wapnia, magnezu, żelaza i manganu, ale mniejszą zawartością azotu azotanowego, sodu i potasu. Jak wynika z tabeli 12, stężenia większości związków w studni 155 wykazują dość dużą stabilność w badanym 10-wieloleciu.

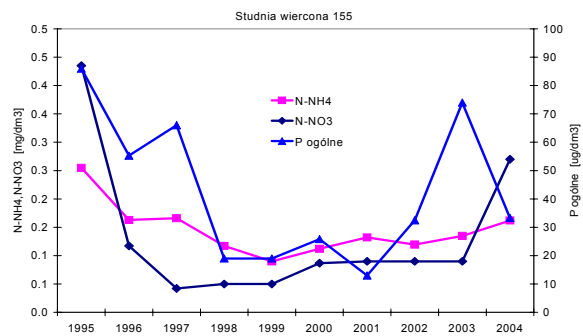
Tabela 12. Charakterystyka składu chemicznego wód podziemnych (studnia 155) w latach 1995-2004.

Rok hydrologiczny	S- SO_4	N- NO_3	HCO_3	N- NH_4	Cl	Na	K	Mg	Ca	P _{ogól}	Fe	Mn	pH	przewodność
	mg/dm ³			mg/dm ³						µg/dm ³	mg/dm ³		[-]	mS/m
1995	17.09	0.44	414.80	0.26	21.57	16.03	4.32	21.50	118.25	86	1.78	0.19	7.25	69.33
1996	16.21	0.12	420.03	0.16	18.95	10.81	4.05	21.30	119.86	55	1.21	0.19	6.91	70.11
1997	19.09	0.04	440.42	0.17	22.92	11.38	2.78	22.96	128.20	66	1.79	0.15	7.20	70.84
1998	19.89	0.05	440.42	0.12	19.86	11.66	2.77	22.96	128.66	19	0.79	0.20	7.30	70.58
1999	17.18	0.05	441.64	0.09	19.64	10.58	3.00	22.30	128.00	19	0.60	0.16	7.18	74.12
2000	17.82	0.09	449.37	0.11	19.42	11.27	2.79	22.53	130.33	26	0.77	0.15	7.22	74.43
2001	21.57	0.00	460.55	0.13	22.05	12.20	2.64	23.15	133.10	13	1.11	0.14	7.50	82.45
2002	19.59	0.09	451.40	0.12	21.50	11.40	2.16	22.80	127.50	33	2.16	0.18	7.50	74.40
2003	19.23	0.09	448.35	0.13	21.65	12.24	2.48	23.32	131.02	74	1.98	0.13	7.31	75.30
2004	17.72	0.27	447.59	0.16	17.76	11.81	2.64	22.91	131.00	33	1.33	0.13	7.30	73.46
1995-2004	18.54	0.12	441.46	0.15	20.53	11.94	2.96	22.57	127.59	42	1.35	0.16	7.27	73.50
STD	1.61	0.13	14.08	0.05	1.63	1.53	0.68	0.68	4.83	26	0.55	0.03	0.17	3.80

Największą zmienność stężeń wykazują związki azotu oraz fosfor ogólny, żelazo, potas i mangan. Stężenia takich pierwiastków jak: Mn i K generalnie maleją w wieloleciu. Zmiany stężeń związków azotu i fosforu ogólnego, należących do grupy biogenów obrazuje rycina 34. Charakter przebiegu zmian stężeń tych związków nie

wskazuje na zasadnicze zmiany eutroficzne wód podziemnych. Mają one raczej charakter zmian naturalnych, wywołanych w dużej mierze zmianami warunków meteorologicznych. Wysokie stężenia tych związków wystąpiły w latach 1995-1997 i 2003-2004, które charakteryzują się skrajnie niskimi opadami zimowymi (2003, 1996 i 1997r.) i względnie wysokimi opadami letnimi (1995, 2004 r.) oraz ekstremalnie niskimi temperaturami powietrza w chłodnej połowie roku (1996 i 2003r.) i przeciętnymi temperaturami w cieplej połowie roku (1995, 1997 i 2004r.).

Wyniki badań odczynu pH i przewodności oraz stężenia CaHCO_3 wskazują generalnie na ich wzrost, świadczący o postępującej mineralizacji wód podziemnych w rejonie Stacji.



Ryc. 34. Zmiany stężeń związków biogennych wód podziemnych (studnia 155)

Wody powierzchniowe – rzeki

Odływ wód z jeziora Łękek odbywa się poprzez ciek (nr 100), który zasila wody jeziora Gołdapiwo. W pełni zorganizowany monitoring warunków hydrologicznych odływu rozpoczęto w roku hydrologicznym 2002.

Ciek ten, podobnie jak trzy dopływy zasilające jezioro Łękek, charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością przepływów w ciągu roku, zależną od warunków meteorologicznych – głównie od opadów. W tabeli 13 przedstawiono charakterystyczne wskaźniki wymiany wód jeziornych w latach 2002-2004. Jak wynika z tabeli 13 współczynnik odływu, zależny od zasilania wód opadami i odływu wód jeziornych zmieniał swoją wartość w ciągu trzech lat od niemal zera do około 0.33, w efekcie czego deficyt odływu w roku 2002 był

bliski rocznej sumy opadów w tym roku. Względnie wysokie opady w 2004 roku znacznie zwiększyły odływ i w konsekwencji zmniejszyły w stosunku do roku 2002 deficyt odływu do wartości bliskiej deficytowi odływu w 2003 roku, który z kolei charakteryzował się

Tabela 13. Roczne wartości wskaźników odływu wód jeziora Łękek.

rok hydrologiczny	opad atmosferyczny	odływ	współczynnik odływu	deficyt odływu
	[mm]		[-]	[mm]
2002	709.9	33.6	0.05	676.3
2003	494.5	34.5	0.07	460.0
2004	743.0	246.6	0.33	496.4

Tabela 14. Przepływy charakterystyczne [m^3/s] I i II stopnia w latach hydrologicznych 2002-2004.

Przepływy charakterystyczne I stopnia w roku 2002					
NQ		SQ		WQ	
0.0001		0.033		0.210	
Przepływy charakterystyczne II stopnia w roku 2002					
minimalne		średnie		maksymalne	
NNQ	0.0000	SNQ	0.000	WNQ	0.000
NSQ	0.000	SSQ	0.033	WSQ	0.210
NWQ	0.001	SWQ	0.299	WWQ	1.079

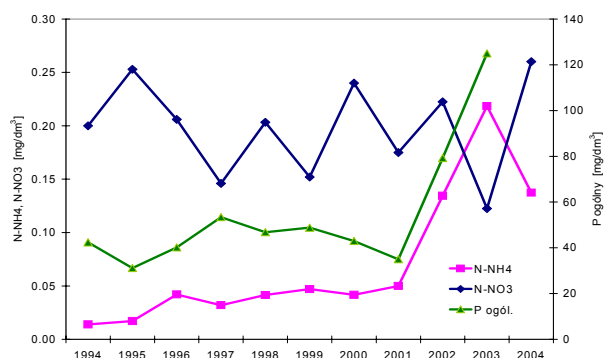
Przepływy charakterystyczne I stopnia w roku 2003					
NQ		SQ		WQ	
0.0012		0.030		0.200	
Przepływy charakterystyczne II stopnia w roku 2003					
minimalne		średnie		maksymalne	
NNQ	0.0000	SNQ	0.000	WNQ	0.001
NSQ	0.001	SSQ	0.030	WSQ	0.200
NWQ	0.010	SWQ	0.127	WWQ	1.136

Przepływy charakterystyczne I stopnia w roku 2004					
NQ		SQ		WQ	
0.0002		0.110		2.045	
Przepływy charakterystyczne II stopnia w roku 2004					
minimalne		średnie		maksymalne	
NNQ	0.0002	SNQ	0.002	WNQ	0.006
NSQ	0.013	SSQ	0.112	WSQ	0.603
NWQ	0.060	SWQ	0.413	WWQ	2.045

ony wodorowęglanowe i wapń, tworzące kwaśne węglany wapnia ($CaHCO_3$). Wyniki badań wód odływowych, przedstawionych w tabeli 15, wskazują na podobną do wód jeziora zmienność stężeń w latach 1994-2004. Największą niestabilność stężeń rocznych, wykazują związki azotu i fosfor ogólny. Zmiany stężeń tych związków biogenicznych obrazuje rycina 35. Można zauważyć znaczący wzrost stężeń fosforu i jonów amonowych w latach 2002-2004 oraz brak widocznej tendencji zmian stężeń jonów azotanowych, których roczne

bliski rocznej sumy opadów w tym roku. Względnie wysokie opady w 2004 roku znacznie zwiększyły odływ i w konsekwencji zmniejszyły w stosunku do roku 2002 deficyt odływu do wartości bliskiej deficytowi odływu w 2003 roku, który z kolei charakteryzował się najniższymi opadami w 11-leciu. Ta złożoność interakcji pomiędzy wodami jeziora, opadami i wodami odływu ma swoje odbicie w dużej zmienności wartości przepływów charakterystycznych, które przedstawiono w tabeli 14. Najmniejsze wartości przepływów są zerowe, natomiast maksymalne przepływy przekraczają $2m^3/s$. Tak duże zmiany występują nie tylko w skali roku, ale także w ciągu doby, co jest charakterystyczne dla potoków górskich. Przykładem częstych braków dobowych przepływów był rok 2003 z najniższą, jak już wspomniano, sumą opadów.

Wody odływowe jeziora Łękek są podobne, pod względem składu chemicznego do wód misy jeziora, których głównymi rozpuszczonymi składnikami są



Ryc. 35. Zmiany stężeń związków biogenicznych wód odływowych jeziora Łękek.

wartości wykazują znaczną zmienność w całym analizowanym okresie. Obserwowany jest (tab.15), podobnie jak dla wód jeziora, wzrost stężeń kwaśnych węglanów wapnia i przewodności oraz spadek stężeń jonów siarczanowych.

Tabela 15. Charakterystyka składu chemicznego wód odpływowych jeziora Łękek w latach 1994-2004.

Rok hydrologiczny	S-SO ₄	N-NO ₃	HCO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	P _{ogól.}	Fe	Mn	pH	przewodność
	mg/dm ³			mg/dm ³						µg/dm ³	mg/dm ³		[-]	mS/m
1994	6.89	0.20	176.90	0.01	4.97	2.81	1.33	7.63	54.14	42	-	-	7.98	28.18
1995	8.56	0.25	176.03	0.02	4.12	2.92	1.18	7.72	54.20	31	-	-	7.97	30.00
1996	8.13	0.21	174.46	0.04	4.24	2.77	1.41	7.50	52.06	40	-	-	7.72	30.12
1997	8.14	0.15	208.62	0.03	4.91	3.22	1.85	8.96	62.04	53	-	-	7.84	30.94
1998	6.80	0.20	196.22	0.04	4.58	2.85	1.42	8.16	57.02	47	-	-	7.98	29.98
1999	4.86	0.15	211.06	0.05	3.69	2.92	1.48	8.71	60.70	49	-	-	8.20	33.12
2000	5.64	0.24	211.47	0.04	4.01	3.10	1.63	8.85	60.10	43	-	-	7.57	33.27
2001	6.42	0.18	215.03	0.05	4.48	2.86	1.63	8.54	58.28	35	-	-	8.03	34.53
2002	5.13	0.22	213.50	0.13	4.49	2.86	1.79	8.88	58.95	79	-	-	7.90	34.30
2003	5.27	0.12	222.65	0.22	4.81	2.88	2.14	9.13	60.75	125	0.18	0.22	7.49	35.87
2004	6.06	0.26	210.45	0.14	4.33	2.92	1.76	8.72	61.19	-	0.15	0.16	7.86	33.44
1994-2004	6.54	0.20	201.49	0.07	4.42	2.92	1.60	8.44	58.13	55	0.17	0.19	7.93	32.16
STD	1.30	0.05	17.63	0.06	0.39	0.13	0.27	0.58	3.35	28	0.02	0.04	0.21	2.42

W tabeli 16 przedstawiono roczne ładunki poszczególnych zanieczyszczeń odpływające z jeziora Łękek odpływem w kierunku jeziora Gołdopiwo.

Tabela 16. Roczne ładunki poszczególnych jonów wynoszone przez odpływ 100 w latach 2002-2004.

Rok hydrologiczny	S-SO ₄	N-NO ₃	HCO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	P _{ogól.}	Fe	Mn
	kg/ha/rok											
2002	1.72	0.07	71.74	0.05	1.51	0.96	0.60	2.98	19.81	0.027	-	-
2003	1.82	0.04	76.73	0.08	1.66	0.99	0.74	3.15	20.93	0.043	0.06	0.07
2004	14.95	0.64	519.01	0.34	10.68	7.21	4.33	21.52	150.89	-	0.38	0.39
2002-2004	6.16	0.25	222.49	0.15	4.62	3.05	1.89	9.21	63.88	0.035	0.22	0.23
STD	7.61	0.34	256.80	0.16	5.26	3.60	2.12	10.65	75.36	0.012	0.22	0.23

Podsumowując można stwierdzić, że wody odpływowe, podobnie jak wody jeziorne podlegały w latach 1994-2004 widocznym procesom eutrofizacji i mineralizacji, które przebiegały głównie w sposób naturalny, zależny od warunków meteorologicznych.

Wody powierzchniowe – jeziora

Jezioro Łękuć stanowi lokalną bazę drenażu powierzchniowego dla dopływających do niego trzech cieków, mających zasadniczy udział w całkowitym jego zasilaniu oraz dla drenażu podziemnego, szacowanego na niecałe 10% wymiany wód jeziornych. Ponad połowa rocznego zasilania jeziora przypada na okres luty-kwiecień, zatem opady „zimowe” i warunki roztopowe mają zasadniczy wpływ na poziom i wymianę wód jeziora. Obserwowana względna trwałość interakcji pomiędzy zlewnią jeziora, a samą jego misą sprawia, że poziom wód jeziora jest od wielu lat względnie stabilny. Jednakże z dostępnych danych pomiarowych w latach 2002-2004 wynika (patrz rozdział Wody powierzchniowe - rzeki), że jezioro charakteryzuje się dość znaczną rozpiętością wartości współczynnika odpływu w poszczególnych latach (0.05 - 0.35). Ta zmienność warunków retencyjnych jeziora wynika głównie ze zmienności warunków meteorologicznych (podobnie jak dla wód podziemnych), ale także spowodowana jest coraz aktywniejszą działalnością bobrów.

Wody powierzchniowe jeziora Łękuć są typowymi dla środowiska glacialnego, którego głównymi rozpuszczonymi składnikami są jony wodorowęglanowe i wapń, tworzące kwaśny węglan wapnia (CaHCO_3). Wody te są mniej zmineralizowane niż wody podziemne. Wyniki badań warstwy przypowierzchniowej (epilimnionu) wód jeziora wskazują na zmienność rocznych stężeń wielu badanych substancji w poszczególnych latach (tab.17). Największą niestabilność stężeń, wykazują związki azotu i fosfor ogólny oraz żelazo i mangan.

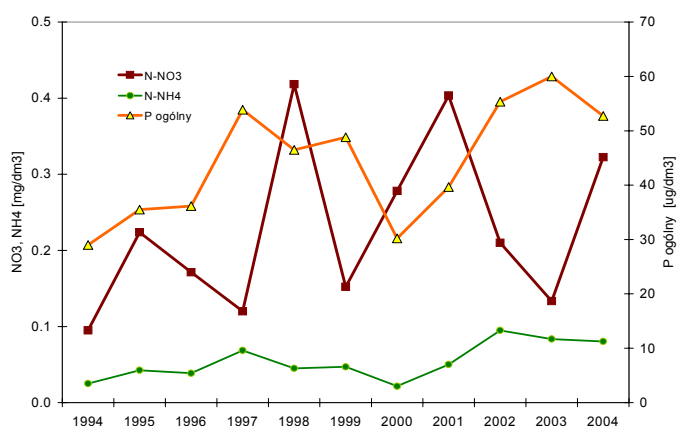
Tabela 17. Charakterystyka składu chemicznego wód powierzchniowych (epilimnion) jeziora Łękuć

Rok hydrologiczny	S-SO ₄	N-NO ₃	HCO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	P _{ogól}	Fe	Mn	pH	przewodność
	mg/dm ³				mg/dm ³					g/dm ³	mg/dm ³		[-]	mS/m
1994	6.72	0.10	193.17	0.03	4.11	3.02	1.37	8.02	56.23	29.00	0.07	0.05	8.16	30.38
1995	8.71	0.22	176.90	0.04	4.58	2.94	1.23	7.89	54.40	35.50	0.08	0.05	8.01	30.34
1996	7.87	0.17	177.77	0.04	4.31	2.84	1.44	7.66	54.03	36.14	0.11	0.04	7.93	31.60
1997	8.22	0.12	210.01	0.07	4.74	3.27	1.52	9.04	62.00	53.86	0.09	0.08	8.01	31.59
1998	7.31	0.42	192.15	0.05	4.27	2.86	1.42	8.19	57.00	46.50	0.13	0.07	8.16	29.83
1999	4.86	0.15	211.06	0.05	3.69	2.92	1.48	8.71	60.70	48.80	0.14	0.05	8.20	33.12
2000	6.01	0.28	200.08	0.02	4.46	2.93	1.63	8.55	57.46	30.20	0.11	0.05	8.10	32.08
2001	6.56	0.40	203.33	0.05	4.63	2.85	1.62	8.51	57.60	39.67	0.14	0.10	8.12	33.12
2002	6.66	0.21	209.43	0.09	4.54	2.88	1.62	8.74	58.52	55.33	0.16	0.13	8.08	32.28
2003	6.38	0.13	199.27	0.08	4.73	2.83	1.50	8.67	56.94	60.00	0.05	0.08	8.13	32.07
2004	6.97	0.32	202.06	0.08	4.62	2.84	1.54	8.36	60.16	52.71	0.09	0.06	8.16	32.65
1994-2004	6.93	0.23	197.75	0.05	4.43	2.93	1.49	8.39	57.73	44.34	0.11	0.07	8.17	31.73
STD	1.08	0.11	11.87	0.02	0.31	0.13	0.12	0.42	2.49	10.74	0.03	0.03	0.08	1.12

Zmiany stężeń tych związków biogenych obrazuje rycina 36. Charakter przebiegu zmian stężeń tych związków, kształtowanego głównie przez warunki meteorologiczne wskazuje generalnie na wzrost eutrofii wód jeziornych. Niewielki spadek stężeń azotu amonowego w latach 2003-2004 może wynikać ze

zmniejszonego wpływu antropogenicznego (np. zmniejszonego wypasu zwierząt kopytnych na terenach przyległych do jeziora). Powolny spadek stężeń jonów siarczanowych (tab.17) może wynikać z malejących stężeń tych jonów w powietrzu i opadach atmosferycznych w latach 1994-2004. Wyniki badań odczynu pH i przewodności oraz stężeń CaHCO_3 wskazują na ich niewielki wzrost w badanym wieloleciu.

Skład chemiczny warstwy wód nad dnem jeziora (hypolimnionu) przedstawiono w tabeli 18. Pomimo braków w danych można zauważyć, że wody w hypolimnionie są bardziej zateżone związkami biogenymi i nieco bardziej zmineralizowane niż w epilimnionie. Największe różnice



Ryc. 36. Zmiany stężeń związków biogenych wód powierzchniowych (epilimnion) jeziora Łękuć.

w stężeniach dotyczą fosforu ogólnego i jonów amonowych, co wynika głównie z przewagi procesów beztlenowych w hypolimnionie.

Tabela 18. Charakterystyka składu chemicznego wód nad dnem (hypolimnion) jeziora Łękek

Rok hydrologiczny	S-SO ₄	N-NO ₃	HCO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	P _{ogól}	Fe	Mn	pH	przewodność
	mg/dm ³			mg/dm ³						≙g/dm ³	mg/dm ³		[-]	mS/m
1994	6.11	0.05	203.33	0.98	5.23	3.04	1.58	8.36	60.42	647	1.59	1.21	7.36	32.52
1995	8.06	0.21	180.71	0.47	4.64	2.93	1.30	7.83	55.19	522	1.36	0.64	7.51	30.03
1996	7.41	0.07	227.44	0.93	5.57	3.48	1.58	9.33	66.06	92	2.20	1.26	6.91	36.27
1997	7.01	0.12	220.47	0.75	5.16	3.24	1.62	9.08	63.09	407	1.43	0.86	7.44	32.86
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	4.86	0.17	252.13	0.87	7.56	2.93	1.79	9.53	66.42	644	1.50	1.28	7.45	39.58
2004	6.13	0.38	227.99	0.84	5.89	-	3.08	1.83	9.59	-	-	1.26	7.45	36.04
1994-2004	6.60	0.17	218.68	0.81	5.68	3.12	1.82	7.66	53.46	462	1.62	1.08	7.39	34.55
STD	1.14	0.12	24.34	0.19	1.01	0.24	0.63	2.93	21.89	230	0.34	0.27	0.22	3.40

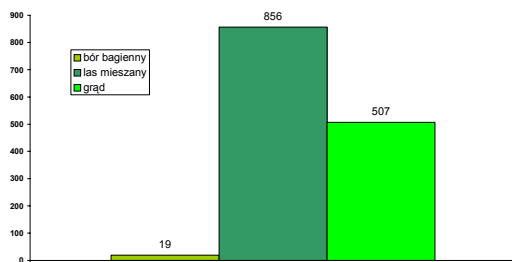
Fauna bezkręgową

W roku 2004 rozpoczęto badania fauny bezkręgowców. Wytypowano siedem powierzchni badawczych:

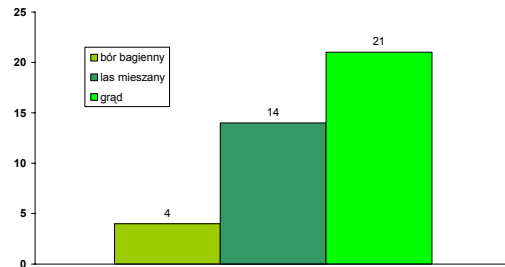
- w grądzie – 3 powierzchnie: nr 010/a, 010/b, 010/c
- w lesie mieszanym – 3 powierzchnie: 011/a, 011/b, 011/c
- w borze bagiennym – 1 powierzchnia: 012/a

Na każdej powierzchni obserwacyjnej założono pięć pułapek Barbera. W ciągu sezonu zebrano 34 próbki, które poddano analizie w Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach.

Poniżej przedstawiono wyniki obserwacji prowadzonych w okresie od maja do września 2004 roku.



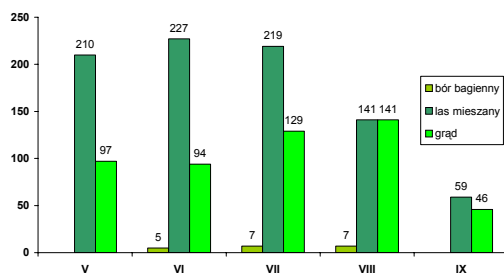
Ryc. 37. Całkowita liczebność odłowów Carabidae w różnych typach siedlisk. 2004



Ryc. 38. Liczba gatunków Carabidae w różnych typach siedlisk. 2004

Najwięcej osobników złowiono w w/w okresie na stanowiskach zlokalizowanych w lesie mieszanym, a najmniej w borze bagiennym (ryc.37).

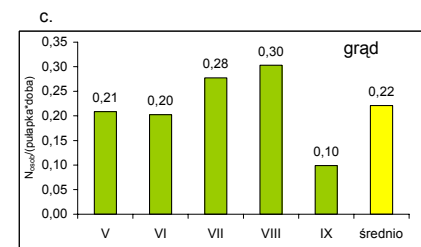
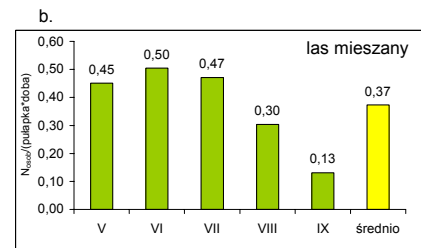
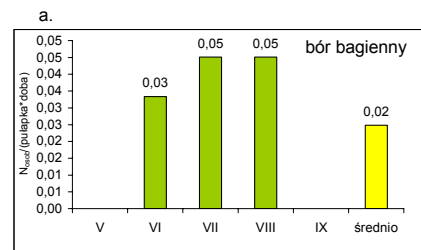
Najwięcej gatunków Carabidae zaobserwowano na powierzchniach zlokalizowanych w grądzie, a najmniej w borze bagiennym (ryc.38).



Rys. 39. Przebieg łowności ogólnej Carabidae w różnych typach siedlisk. 2004

Łowność biegaczowatych była znacznie zróżnicowana na różnych powierzchniach w kolejnych miesiącach sezonu (ryc.39).

Wyraźnie można zaobserwować, że w lesie mieszanym maksimum odłowów przypadło na miesiące czerwiec i lipiec, w grądzie maksimum odłowów wystąpiło w sierpniu, natomiast w borze bagiennym biegaczowate odłowiono jedynie w czerwcu, lipcu i sierpniu i nie zanotowano wystąpienia zbyt dużej zmienności tych odłowów. Na stanowiskach boru bagiennego największa łowność jednostkowa miała miejsce w lipcu i sierpniu, w lesie mieszanym w czerwcu a w grądzie w sierpniu.



Rys. 40. Łowność jednostkowa Carabidae w różnych typach siedlisk. 2004

Epifity nadrzewne – porosty

W wyniku realizowanego od roku 2002 w Stacji Bazowej na Diablej Górze monitoringu ośmiu gatunków porostów (tab.19) reprezentujących trzy podstawowe formy morfologiczne: skorupiaste, listkowate i krzaczkowate (Fałtynowicz i Krzysztofiak, 2001), na podstawie obrysów sporządzanych w latach 2002, 2004 i 2005 opisano dziesięć stanowisk na pniach 7 gatunków drzew.

Tabela 19. Wykaz gatunków objętych monitoringiem, ich forma morfologiczna oraz status prawny

Lp	Nazwa łacińska	Nazwa polska	Forma morfologiczna	Status prawny
1	<i>Evernia prunastri</i>	mąkla tarniowa	krzaczkowaty	chroniony
2	<i>Hypogymnia physodes</i>	pustułka pęcherzykowata	listkowaty	-
3	<i>Melanelia fuliginosa</i>	przylepka okopcona	listkowaty	chroniony
4	<i>Parmelia sulcata</i>	tarczownica bruzdkowana	listkowaty	-
4	<i>Pertusaria amara</i>	otwornica gorzka	skorupiasty	-
6	<i>Phlyctis argena</i>	rozsypek srebrzysty	skorupiasty	-
7	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	mąklik otrębiasty	krzaczkowaty	chroniony
8	<i>Ramalina farinacea</i>	odnożyca mączysta	krzaczkowaty	chroniony

W 2005 roku odnotowano zarówno pojawienie się na poszczególnych powierzchniach nie występujących tam wcześniej objętych monitoringiem gatunków porostów, jak i również zanotowano wypadnięcie jednego gatunku.

W porównaniu do roku 2004 stwierdzono szereg zmian powierzchni plech monitorowanych porostów. Utrzymał się trend gwałtownego zmniejszania powierzchni (*Evernia prunastri*) (spadek z 99,22 cm² w 2002 roku, do 21,68 cm² w 2004 i wreszcie do 7,33 cm² w 2005 roku). Zanotowano również pojawienie się (*Pseudevernia furfuracea*) na powierzchni 138.

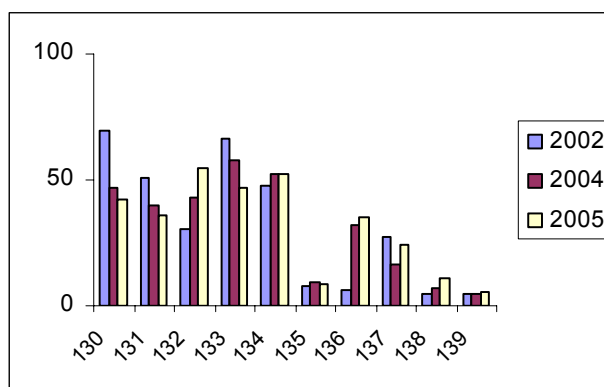
W odróżnieniu od 2002 roku nie zanotowano *Melanelia fuliginosa* i *Pertusaria amara*. Powierzchnia zajmowana przez oba zanotowane gatunki (*Hypogymnia physodes* i *Parmelia sulcata*) pozostała na podobnym jak poprzednio poziomie i wyniosła odpowiednio 6,31 i 4,45 cm² w 2004 r oraz 7,49 i 6,04 w 2005 r. Całkowita powierzchnia zajmowana przez objęte monitoringiem porosty zwiększyła się z 10,76 cm² w 2004r. do 13,54 cm² w 2005 r. Jest to niewielka zmiana poprzedniej tendencji.

Na poszczególnych stanowiskach powierzchnie plech porostów objętych monitoringiem w 2005 roku są często znacznie odmienne niż były w 2004 roku. Jednak łączny procent pokrycia powierzchni

przez plechy danego gatunku porostu jest w większości przypadków podobny (ryc.41). Podobieństwo takie może świadczyć o stabilności warunków.

Zanotowano zdecydowane zmniejszenie się powierzchni (*Evernia prunastri*)-stanowisko 130, *Hypogymnia physodes* –stanowiska 134 i 138, (*Melanelia fuliginosa*)- stanowisko 133, zdecydowanie zwiększyła się powierzchnia (*Melanelia fuliginosa*)-stanowisko 132, (*Parmelia sulcata*)-137 i (*Phlyctis argena*)-138. Na pozostałych powierzchniach, wśród reszty monitorowanych gatunków nie zanotowano takich zmian.

Stałą tendencją spadkową charakteryzuje się (*Evernia prunastri*), której powierzchnia spadła z 99,22 cm² w 2002 roku,

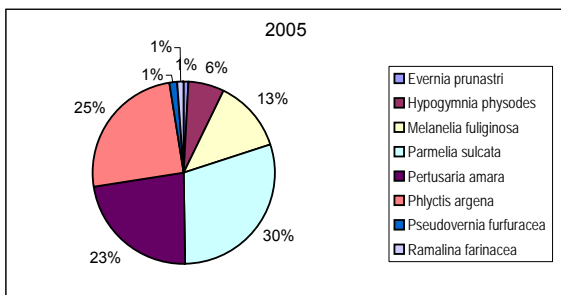
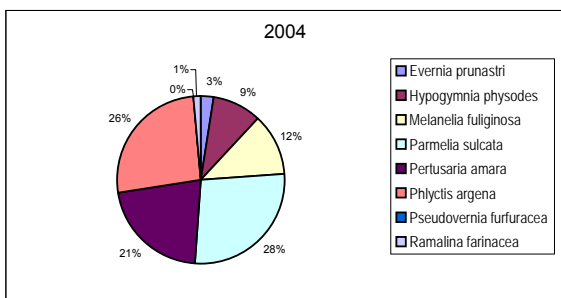
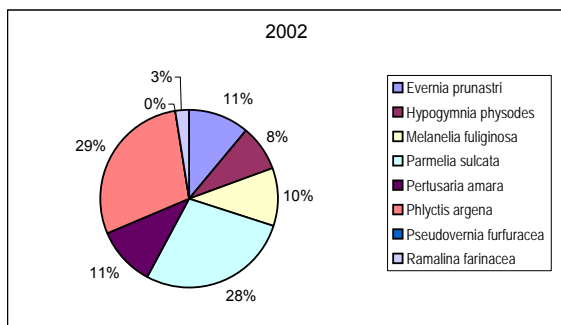


Ryc. 41. Wyrażone w procentach pokrycie powierzchni poszczególnych stanowisk przez monitorowane gatunki porostów w 2002, 2004 i 2005 roku

do 21,68 cm² w 2004 roku i tylko do 0,89 cm² w 2005 roku. Zmiana ta jest najbardziej widoczna na stanowisku 130. Jest najprawdopodobniej spowodowana antropopresją. Stanowisko 130

usytuowane jest w miejscu, w którym w 2004 roku stawiano ogrodzenie. Niewysoko umieszczone powierzchnia monitoringu (83 cm od poziomym gruntu) oraz podatność krzaczkowatych porostów na uszkodzenia mechaniczne jest prawdopodobną przyczyną zmniejszenia się powierzchni zajmowanej przez ten porost.

Procentowy sumaryczny udział poszczególnych gatunków porostów na wszystkich stanowiskach pokazany został na rycinie 42. Widać na niej szczególnie zmniejszenie w roku 2005 w stosunku do roku 2003 udziału powierzchni: *Phlyctis argena* z 29% do 25%, *Evernia Prunastri* z 11% do 1%, natomiast zwiększenie udziału powierzchni *Petrusaria amara* z 11% do 23% oraz *Melanelia fuliginosa* z 10% do 13%.



Ryc.42 Procentowy udział gatunków porostów w skali wszystkich stanowisk obserwacyjnych

Funkcjonowanie i ocena stanu środowiska przyrodniczego zlewni jeziora Łękuk

Charakterystyczne procesy w geosystemie

Stacja KMS Puszczą Borecką jest stacją zlokalizowaną w rejonie północno-wschodniej Polski. Jest to rejon o małej gęstości zaludnienia. Okoliczne miasta to kilkunastobądź kilkudziesięcioletnie skupiska ludności (Ełk ok. 56000 mieszkańców, Giżycko ok. 29000 mieszkańców). Rejon Mazur, Mazur Garbatych, Pojezierza Ełckiego to region o drobnym przemyśle. Antropopresja na środowisko jest niewielka. Źródła emisji zanieczyszczeń powietrza to w dużej mierze gospodarstwa przydomowe oraz w okresie letnim zwiększona liczba samochodów. Rejon Stacji jest więc rejonem poddanym niewielkiej antropopresji lokalnej oraz pewnej antropopresji ze źródeł odległych. Źródła te to przede wszystkim duży przemysł południowej i środkowej Polski oraz duże elektrownie i elektrociepłownie.

Geosystem zlewni jeziora Łękuk a także geosystem Puszczy Boreckiej poddawane są niewielkiej presji wynikającej z działalności ludzkiej więc i procesy w nich zachodzące charakterystyczne są dla obszarów „czystych”. Niskie stężenia podstawowych zanieczyszczeń powietrza, niskie stężenia zanieczyszczeń w wodach opadowych oraz niewielkie ładunki zanieczyszczeń dostających się tą drogą do ekosystemu nie wpływają w krótkim okresie w widoczny sposób na zmiany w tutejszych biocenozach.

W ostatnich latach obserwuje się utrzymywanie stężeń badanych zanieczyszczeń powietrza na bardzo zbliżonym poziomie, niższym niż na początku wielolecia 1994-2004, przy zachowaniu charakterystycznych przebiegów sezonowych.

Procesy ekstremalne w środowisku przyrodniczym

Ostatnie dziesięciolecie w rejonie Stacji charakteryzowało się wzrostem częstości występowania zjawisk przyrodniczych definiowanych jako ekstremalne (odbiegające znacznie od średnich z wielolecia). Zjawiska te dotyczą przede wszystkim meteorologii, ale nie tylko.

Należy odnotować wystąpienie w roku 2004 podwójnej fali wstrząsów sejsmicznych o sile 4-5 stopni w skali Richtera z epicentrum w okolicach Baltijska (21 września o godzinie 13.00 i 15.30 czasu lokalnego), dające się odczuć w okolicy Stacji. Nie spowodowało ono żadnych wymiernych szkód, lecz było zjawiskiem dotychczas nie notowanym w tych okolicach.

W rejonie stacji Puszczą Borecką w ostatnich latach zaobserwowano nasilające się ekstremalne zjawiska meteorologiczne, stanowiące zagrożenia ekologiczne takie, jak susza stwarzająca zagrożenie dla lasów (1994, 2000), huraganowe wiatry o porywach dochodzących do około 30m/s (1999, 2002) i śnieżno-lodowe opady niszczące drzewa i linie energetyczne (2000/2001) oraz liczne intensywne opady (deszczu lub śniegu), a zwłaszcza zawieje i zamiecie śnieżne, przyczyniające się prawie każdego roku do zakłóceń komunikacji. W ostatnich pięciu latach zanotowano także rekordowe wartości większości parametrów meteorologicznych: temperatury powietrza, prędkości wiatru, opadu i promieniowania słonecznego.

W okresie 1994-2004 zanotowano następujące rekordy meteorologiczne :

- maksymalne porywy wiatru dochodzące do 30m/s (2002);
- najniższa wartość temperatury minimalnej powietrza -28.5°C (I.2003);
- najniższa wartość średniej dobowej temperatury gruntu na głębokości 5cm (-23.4°C), jako konsekwencja rekordowo niskich temperatur powietrza w styczniu 2003;
- najniższa wartość średniej dobowej wilgotności względnej powietrza - 35% (V.2003);
- najwyższa średnia roczna wartość natężenia promieniowania słonecznego - 122.6 W/m² (2003);
- najwyższa wartość rocznego usłonecznienia - 1911 godzin (2003);
- najwyższa roczna wartość czasu trwania opadów atmosferycznych - 1064 godziny (2004);

Obiegi materii elementarne, lokalne i regionalne

Prowadzone w latach 1994-2004 badania chemizmu wód jeziora w warstwie przypowierzchniowej i naddennej wskazują na coraz bardziej widoczną tendencję wzrostową stężeń azotu amonowego i azotanowego (tylko w warstwie naddennej) oraz fosforu fosforanowego, wapnia i potasu, co może się wiązać ze splukiwaniem substancji biogennych z obszaru zlewni.

Kierunki zagrożeń, formy ochrony środowiska

Dotychczasowe zjawiska związane z dalekim transportem substancji zakwaszających środowisko w ostatnich latach osłabły, przez co można domniemywać, że niebezpieczne dla ekosystemów przekraczanie ładunków krytycznych kwasowości będzie zanikać w rejonie Stacji, spowolnieniu ulegnie proces uwalniania w glebie zabójczych dla flory jonów glinu (zachodzący jako konsekwencja depozycji substancji zakwaszających z atmosfery).

Podstawowe zagrożenia środowiska w rejonie Stacji wiążą się jednak z działalnością człowieka. Silny rozwój rolnictwa, obserwowany w ostatnich czasach po okresie stagnacji, wiąże się z intensywnym sposobem gospodarowania czyli silnym nawożeniem. Nadmiar nawozów stosowanych w rolnictwie niekorzystnie wpływa na bioróżnorodność w ekosystemie zlewni, wiąże się z nadmiernym dopływem substancji biogennych do wód powierzchniowych i podziemnych. Również intensywna gospodarka leśna wykorzystuje różnego rodzaju środki ochrony roślin oddziałujące niekorzystnie na przyrodężywioną. Niekorzystne zmiany wynikają również z nadmiernego wyrębu gospodarczego lasów. Czasy rębni zupełnych należą już wszakże do przeszłości, ale mimo to pozyskuje się z lasu więcej drewna niż go w naturalny sposób przyrasta.

Niewielkim na razie zagrożeniem dla tutejszej przyrody jest turystyka. Puszcza Borecka ze względu na trudny dostęp spowodowany specyfiką ukształtowania terenu i rodzajem roślinności jest na razie rzadko odwiedzana przez masowego turystę. Woli on korzystać z rejonów „przyjaźniejszych” i bardziej ucywilizowanych. Ta sytuacja będzie się jednak zmieniać. Istnieje coraz większa liczba osób, dla których nietknięta przyroda stanowi magnes. Są to na ogół świadomi uwarunkowań ekologicznych ludzie, lecz przez samą swoją obecność będą oddziaływać niekorzystnie na unikalne elementy tutejszej przyrody – rzadkie rośliny i zwierzęta.

Należy dążyć do objęcia rejonu Stacji - a najlepiej całej Puszczy Boreckiej - jakąś formą ochrony krajobrazowej. Stworzenie na terenie Puszczy Boreckiej np. parku krajobrazowego powinno w przyszłości uregulować wiele problemów m.in. turystykę, gospodarkę leśną, ochronę czynną wielu gatunków znajdujących się obecnie na listach gatunków zagrożonych. Instytut Ochrony Środowiska kilka lat temu przygotował wstępną dokumentację przyrodniczą takiego parku. Prace organizacyjne nie zostały jednak podjęte ze względu na niezbyt przychylne stanowisko lokalnych władz samorządowych oraz Administracji Lasów Państwowych. Należy nadmienić, że na terenie Puszczy Boreckiej znajduje się kilka rezerwatów o ochronie ścisłej lub częściowej, głównie florystycznych, na terenie których realizowana jest stosowna polityka ochronna.

Bibliografia

- ◆ Bogucka M., E. Brejnak, T. Śnieżek, A. Degórska, 2005 ; „Zanieczyszczenie powietrza i opadów atmosferycznych na stacjach tła” w „Zanieczyszczenie powietrza w Polsce w latach 2003-2004”; ; Biblioteka Monitoringu Środowiska; str. 159-189
- ◆ Degórska A., S. Gawliński, Z. Prządka, T. Śnieżek. 1995; Wybrane wyniki badań monitoringowych prowadzonych w Stacji KMŚ Puszcza Borecka w roku hydrologicznym 1994. Publikacja w ramach raportu rocznego ZMŚP - Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ. Warszawa;
- ◆ Degórska A. i in. 1996; Raport Stacji Bazowej ZMŚP. Stacja KMŚ Puszcza Borecka w Diablej Górze. Biblioteka Monitoringu
- ◆ Degórska A., G. Przybylska, R. Twarowski, 2002; Stan Środowiska w Polsce. Raport Inspekcji Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska
- ◆ Degórska A., G. Przybylska, R. Twarowski, L. Dygas-Ciołkowska; 2003; w Stan Środowiska w Polsce w latach 1996-2001. Biblioteka Monitoringu Środowiska Rozdział 4 Zakwaszenie – str. 69-77
- ◆ Degórska A.; 2004; „Zmiany stężenia i depozycji substancji zakwaszających na stacjach badających tło zanieczyszczenia atmosfery w Polsce” w „Ochrona powietrza w teorii i praktyce”. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze; str. 101-106,
- ◆ Degórska A., Z. Prządka, T. Śnieżek, 2005 „Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka w Diablej Górze” w „Raport o stanie środowiska województwa warmińsko-mazurskiego w 2004 roku” pod redakcją Z. W. Krajewskiego; Biblioteka Monitoringu Środowiska, Olsztyn
- ◆ Lorenc H. Klasyfikacja termiczno opadowa
- ◆ Jansen W., Block A., Knaak J. 1988. Kwaśne deszcze, Historia, powstawanie, skutki. Aura 4.
- ◆ Śnieżek T.; 2004; „Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka jako jedna ze stacji sieci EMEP badających transgraniczny przepływ zanieczyszczeń powietrza” w „Ochrona powietrza w teorii i praktyce”. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze; str. 321-329,
- ◆ Prządka Z., Charakterystyka warunków meteorologicznych w 2001 w ‘Zanieczyszczenia powietrza w Polsce w 2001 roku na podstawie pomiarów krajowej sieci stacji podstawowych’. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa 2002. str. 18 – 23.
- ◆ Prządka Z., 2002; Zmienność parametrów meteorologicznych w rejonie Stacji Puszcza Borecka w latach 1994-2001 ze szczególnym uwzględnieniem wartości ekstremalnych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych IOŚ.
- ◆ Prządka Z.; 2004; “Zagrożenia środowiska w wyniku zmian warunków meteorologicznych w rejonie Stacji Puszcza Borecka” w „Monitoring zagrożeń I metody osłony środowiska” . Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, str. 24-31
- ◆ Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, 1994; Praca zbiorowa pod red. J.Siuty. IOŚ Warszawa
- ◆ Śnieżek T., A. Degórska. 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe. Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ. Warszawa;
- ◆ Śnieżek T., A. Degórska, Z. Prządka. 1995: Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska *Puszcza Borecka*. Raport o stanie woj. suwalskiego w roku 1994. Biblioteka Monitoringu PIOŚ. Suwałki. Str. 31 - 58;
- ◆ Śnieżek T., A. Degórska. 1996: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji systemu pomiarowego, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ.
- ◆ Śnieżek T. Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka w Diablej Górze. Raport o stanie środowiska województwa warmińsko-mazurskiego w roku 2001; Biblioteka Monitoringu Środowiska

- ◆ Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań; 1995, Biblioteka Monitoringu Środowiska (wydanie 2 w maszynopisie)