

## OCENA STOPNIA ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA WOLIŃSKIEGO PARKU NARODOWEGO METALAMI, DWUTLENKIEM SIARKI I AZOTEM

Paweł Dudzik, Katarzyna Sawicka-Kapusta,  
Renata Tybik, Konrad Pacwa

**Dudzik P., Sawicka-Kapusta K., Tybik R., Pacwa K., 2010:** Ocena stopnia zanieczyszczenia środowiska Wolińskiego Parku Narodowego metalami, dwutlenkiem siarki i azotem (*Assessment of environmental pollution by metals, sulphure dioxide and nitrogen in Wolinski National Park*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 11, s. 37-48, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

**Zarys treści:** Badania dotyczące oceny zanieczyszczenia środowiska na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego (WoPN) przeprowadzono w latach 2005–2006. Koncentracje metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Fe, Zn) oraz siarki oznaczono w plechach porostu epifitycznego *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Plechy zebrano w październiku 2005 roku (21 pkt). Materiałem badawczym był także opad ściółki oraz liście trzech gatunków drzew wybranych jako bioindykatory: dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* L.)/dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.); buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) i sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). W celu pobrania reprezentatywnego dla każdego miejsca materiału roślinnego i określenia dopływu metali do dna lasu na terenie parku wytyczono trzy powierzchnie (Grodno, Wiselka, Wapnica). Na każdej z nich rozstawiono od października do końca listopada 2006 roku po 5 łapaczy listowia. W badanych liściach oceniono koncentrację pierwiastków (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ca, Mg, K, Na, N, S). Obliczono także opad ściółki i na podstawie zawartości metali w próbie mieszanej określono dopływ badanych pierwiastków do dna lasu. Na podstawie niskich koncentracji metali ciężkich w plechach porostów stwierdzono niewielkie zanieczyszczenie powietrza WoPN. Wyższe zanieczyszczenie stwierdzono w przypadku dwutlenku siarki. W żadnym z badanych gatunków biowskaźnikowych drzew nie zaobserwowano przekroczenia fizjologicznych i naturalnych poziomów stężeń. Stwierdzono, że akumulacja Pb była podobna we wszystkich gatunkach. Ponadto zaobserwowano, że najlepszym akumulatorem metali, zwłaszcza Cd, Cu i Zn, spośród analizowanych trzech gatunków są igły sosny. Dopływ siarki i azotu do dna lasu wraz z opadem ściółki jest niższy aniżeli stwierdzony w zlewni Ratanicy w latach 90. i nie zagraża procesom dekompozycji ściółki na terenach badanego parku. Na podstawie dopływu metali ciężkich do dna lasu stwierdzono, że WoPN należy do czystych parków.

**Słowa kluczowe:** park narodowy, zanieczyszczenie środowiska, metale ciężkie, SO<sub>2</sub>, *Hypogymnia physodes*, liście, dopływ, ściółka.

**Key words:** National Park, environmental pollution, heavy metals, SO<sub>2</sub>, *Hypogymnia physodes*, leaves, input, litter fall.

Paweł Dudzik, Katarzyna Sawicka-Kapusta, Renata Tybik, Konrad Pacwa, Instytut Nauk o Środowisku UJ, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, e-mail: pawel.dudzik@uj.edu.pl, katarzyna.sawicka-kapusta@uj.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

Obecnie mamy do czynienia z wieloma problemami środowiskowymi, z których jednym z najważniejszych jest zanieczyszczenie środowiska (Wilson i Spengler, 1996). Szybkie tempo rozwoju przemysłu, poza korzystnym dla społeczeństwa i kraju wzrostem gospodarczym, wpływa negatywnie na środowisko, które przez to ulega degradacji. Na degradację poza innymi obszarami narażone są także parki narodowe. W Polsce największy wpływ na zanieczyszczenie środowiska mają duże aglomeracje miejskie, wciąż nasilający się transport oraz w dużym stopniu tzw. niskie emisje, które są związane z gospodarstwami domowymi (Sawicka-Kapusta i wsp., 2005). Skażenie środowiska można określić metodami biologicznymi za pomocą bio wskaźników (Nałęcz-Jawecki, 2000). Co raz częściej stosuje się więc biomonitoring środowiska. Ma on ogromną zaletę, gdyż organizmy same rejestrują kumulatywne działanie zanieczyszczeń, a również często wskazują na sposób ich działania. Szczególnie cennymi bio wskaźnikami zanieczyszczenia środowiska są porosty i określone gatunki drzew (Jeran i wsp., 2002). Ocena zawartości wybranych metali ciężkich i siarki w plechach porostu, opadzie ściółki i liściach służy do porównania zmian zanieczyszczenia powietrza na danym obszarze w dłuższych okresach czasu (Sawicka-Kapusta i wsp., 2008). Zastosowanie bioindykacji w badaniach przeprowadzanych na terenie parków narodowych pozwala w porę zapobiegać występowaniu niekorzystnych zmian, których likwidowanie jest czasochłonne, a czasem nawet niemożliwe. Z tego powodu biomonitoring powinien być stosowany rutynowo na obszarach chronionych (Sawicka-Kapusta i wsp., 2005). Celem niniejszej pracy była ocena stopnia zanieczyszczenia środowiska metalami, dwutlenkiem siarki i azotem na terenie Wolińskiego Parku Narodowego.

## 2. Metody

Plechki porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. zebrano z terenu Wolińskiego Parku Narodowego (21 pkt) (ryc. 1). Przy wyznaczaniu punktów starano się, aby powierzchnia parku była pokryta nimi równomiernie. W danym punkcie pobierano plechki z 1–2 drzew na wysokości około 1,5 metra nad ziemią. Próby porostów zebrano w październiku 2005 roku. Na terenie parków zebrano różną ilość prób. Plechki porostów oczyszczono z kory i suszono (bez wcześniejszego mycia) w tem-

peraturze 60°C do uzyskania suchej masy. Następnie próby poddano odpowiedniej analizie chemicznej.

Materiałem badawczym był także opad ściółki oraz liście trzech gatunków drzew wybranych jako bio wskaźniki: dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* L.) / dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.); buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.); sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), zebrane w roku 2006 z obszaru Wolińskiego Parku Narodowego. W celu pobrania reprezentatywnego dla każdego miejsca materiału roślinnego i określenia dopływu metali do dna lasu na terenie parku wytyczono trzy powierzchnie leśne 10 x 10 m (Wiselka – Oddział 19j/19l; Grodno – Oddział 10ak/10al; Wapnica – Oddział 131n/31j) (ryc.1). Na każdej takiej powierzchni rozstawiono po 5 łapaczy listowia (w sumie w parku liczba łapaczy wyniosła 15). Łapacze są to ramki w kształcie kwadratów o powierzchni 1 m<sup>2</sup>. Do dna każdej z takich ramek została przymocowa-



Ryc. 1. Rozmieszczenie badanych powierzchni w Wolińskim Parku Narodowym

Fig. 1. Locating examined areas in Wolinski National Park



Fot. 1. Łapacz listowia  
Photo 1. Litter trap

na polietylenowa siatka o przekroju oczek 1 x 1 mm (fot. 1). Ramki zostały rozstawione losowo i eksponowane na powierzchniach w okresie jesiennym, tj. od października do końca listopada. Po dwóch miesiącach ekspozycji zebrano listowie z każdej ramki oddzielnie, później wysuszono w temperaturze pokojowej i posegregowano według gatunków (fot. 2). Następnie liście poszczególnych gatunków zostały zważone i na tej podstawie została obliczona ilość ściółki opadającej na 1 m<sup>2</sup> powierzchni oraz procentowy udział poszczególnych gatunków w tym opadzie. Na podstawie procentowej zawartości przygotowano średnią próby ściółki w ilości po 20 g, z której do analizy pobrano próby w trzech powtórzeniach. Niemyte próby liści, osobno dla każdego gatunku i miejsca, oraz 20-gramową próbę mieszaną dla każdego terenu zmielono w młynku elektrycznym w celu uzyskania homogennej próby. Tak uzyskany materiał roślinny suszono w temperaturze 60°C do uzyskania suchej masy. Następnie próby poddano odpowiedniej analizie chemicznej.



Fot. 2. Segregacja listowia według gatunków  
*Photo 2. Segregation of the foliage according to species*

Cały materiał badawczy poddano mineralizacji w mieszaninie HNO<sub>3</sub>+HClO<sub>4</sub> (4:1). Oznaczono koncentrację metali (Cd, Pb, Cu, Fe, Zn, K, Mg, Na, Ca) przy użyciu AAS (IL 251). Obliczono także opad ściółki i na podstawie zawartości metali w próbce mieszanej określono dopływ badanych pierwiastków do dna lasu. Koncentrację siarki (S) oznaczono metodą Buttersa-Cherry'ego. Wyniki podano w µg/g s.m. Natomiast azot oznaczono za pomocą analizatora elementarnego CHNOS i wyniki podano w mg/g s.m. Analizowano również materiał referencyjny CRM 482. Odzysk wyniósł 90–107%.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Stężenie pierwiastków w plechach porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. zebranych ze stanowisk naturalnych Wolińskiego Parku Narodowego (WoPN)

W 2005 roku średnie stężenie kadmu w plechach porostów wyniosło 0,60 µg/g, a wszystkie otrzymane wartości mieściły się w zakresie od 0,20 do 1,40 µg/g. Najwyższe stężenie tego pierwiastka stwierdzono w punkcie nr 2 położonym nieopodal kolejowej sieci trakcyjnej biegnącej przez środek parku. Osiem prób charakteryzowało się niższym stężeniem od wartości średniej. Najniższą koncentrację stwierdzono w punkcie 1 położonym w pobliżu miejscowości Międzyzdroje oraz w punkcie nr 12 znajdującym się w lesie nieopodal drogi nr 102. Natomiast średnie stężenie ołowiu w plechach porostów wyniosło 7,96 µg/g. Zakres otrzymanych wartości mieścił się w przedziale od 4,05 do 14,03 µg/g. Najwyższe stężenie tego pierwiastka odnotowano w punkcie nr 7 położonym na cyplu „Grodziszczce”. Wysokie koncentracje stwierdzono również w punkcie 6 (13,09 µg/g) w okolicy Warnowa oraz 13 (11,06 µg/g) znajdującym się w lesie w pobliżu Jeziora Czajcze. Najniższe koncentracje stwierdzono w punkcie 1 (okolice Międzyzdrojów) (tab. 1, ryc. 1).

Najwyższe koncentracje miedzi stwierdzono w punkcie 7 oraz 10 zlokalizowanym w centralnej części parku, z dala od dróg i zabudowań. Najniższe stężenie występowało w plechach porostów zebranych w punkcie nr 19 położonym w części południowej parku. Wartości pozostałych prób nie odbiegały w znaczący sposób od średniej. Średnie stężenie miedzi wyniosło 5,4 µg/g, a zakres otrzymanych stężeń od 3,4 do 6,7 µg/g. Natomiast najwyższą koncentrację żelaza stwierdzono w próbce nr 7 (podobnie jak przy miedzi), a najniższą w plechach zebranych w punkcie nr 6, nieopodal Warnowa. Ponad połowa prób charakteryzowała się niższym stężeniem od wartości średniej. Średnia koncentracja żelaza w plechach porostów wyniosła 452 µg/g, a zakres wartości mieścił się w przedziale od 305 do 738 µg/g. Najwyższe stężenie cynku stwierdzono w plechach zebranych w punkcie 18 (okolice Karnocic). Również wysoką wartość (122 µg/g) stwierdzono w punkcie 14 położonym w północnej części parku oraz nr 5 (121 µg/g) w pobliżu drogi nr 102. Najniższą wartość określono w plechach zebranych na stanowisku nr 8 znajdującym się w lesie, w okolicach Zalesia. Niemal wszystkie próby miały niższą koncentrację od średniej uzyskanej dla całego obszaru, która wyniosła 73 µg/g. Zakres otrzymanych wartości mieścił się

Tab. 1. Koncentracje metali ciężkich i siarki ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) oraz miejsca zbioru porostów w Wolińskim Parku Narodowym w 2005 roku

Tab. 1. Concentrations of heavy metals and sulphurs ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) as well as places of the collection of lichens in Wolinski National Park in 2005

Nr próby/ Number of the sample	Stężenie/Concentration ( $\mu\text{g/g}$ )						Drzewo/Tree	Miejsce zbioru (oddział)/ Place of the set (department)
	Cd	Pb	Cu	Fe	Zn	S		
1	0,20	4,05	5,2	542	67	1587	sosna/pine	64
2	1,40	10,01	5,1	393	64	1251	dąb/oak	82
3	0,41	6,08	5,2	419	67	1801	sosna/pine	117b
4	0,40	6,05	6,2	325	68	1833	modrzew/larch	84
5	0,76	10,13	5,8	399	121	1518	sosna/pine	82c
6	0,60	13,09	5,6	305	71	1308	buk/beechn	113a
7	0,74	14,03	6,7	738	59	1788	buk/beechn	110c
8	0,63	5,28	6,5	481	45	1587	dąb/oak	68g
9	0,61	9,22	6,0	495	63	1643	sosna/pine	120o
10	0,40	8,09	6,7	542	72	2085	sosna/pine	86g
11	0,91	5,54	5,1	386	85	1477	sosna/pine	50b
12	0,20	6,06	5,1	377	52	1548	sosna/pine	30c
13	0,66	11,06	5,4	544	58	1531	sosna/pine	55i
14	1,00	6,99	4,5	443	122	1309	dąb/oak	1
15	–	–	–	–	–	–	–	23
16	–	–	–	–	–	–	–	128a
17	0,61	10,07	6,6	562	47	1588	dąb/oak	128d
18	0,61	8,06	4,3	365	147	1235	brzoza/birch	148b
19	0,40	5,33	3,4	407	57	1431	sosna/pine	137a
20	0,27	7,04	4,3	430	58	1433	sosna/pine	144
21	0,51	5,04	5,5	427	65	1718	sosna/pine	89
<b>max</b>	1,40	14,03	6,7	738	147	2085		
<b>min.</b>	0,20	4,05	3,4	305	45	1235		
<b>średnia</b>	<b>0,60</b>	<b>7,96</b>	<b>5,4</b>	<b>452</b>	<b>73</b>	<b>1561</b>		

w przedziale od 45 do 147  $\mu\text{g/g}$  (tab. 1, ryc. 1).

Średnie stężenie siarki w plechach porostów z terenu parku wyniosło 1561  $\mu\text{g/g}$ , a zakres otrzymanych stężeń mieścił się od 1235 do 2085  $\mu\text{g/g}$ . Najwyższą koncentrację tego pierwiastka stwierdzono w punkcie nr 10 zlokalizowanym z dala od dróg i zabudowań. Była to jedyna tak wysoka wartość. Najniższą koncentrację uzyskano w punkcie 18. W dziesięciu próbach wykazano niższą koncentrację niż wartość średnia dla obszaru WoPN (tab. 1, ryc. 1).

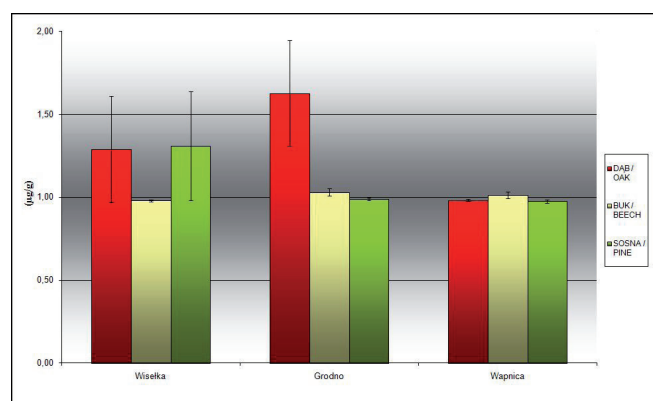
### 3.2. Koncentracja pierwiastków w liściach badanych gatunków drzew z WoPN

#### 3.2.1. Koncentracja pierwiastków w liściach dębu

W WoPN najniższe stężenie kadmu w liściach dębu stwierdzono na powierzchni Grodno (0,10  $\mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się istotnie statystycznie od koncentracji z Wapnicy (0,16  $\mu\text{g/g}$ ), natomiast była istotnie statystycznie niższa od stężenia z powierzchni Wiselka

(0,39  $\mu\text{g/g}$ ). Koncentracje kadmu w Wiselce i Wapnicy nie różniły się istotnie statystycznie między sobą (ryc. 2). Natomiast najniższe stężenie ołowiu w liściach dębu stwierdzono na powierzchni Wapnica (0,98  $\mu\text{g/g}$ ), a najwyższe w Grodnie (1,63  $\mu\text{g/g}$ ). Koncentracja w Wiselce wyniosła 1,29  $\mu\text{g/g}$ . Wszystkie te wartości nie różniły się istotnie między sobą (ryc. 3).

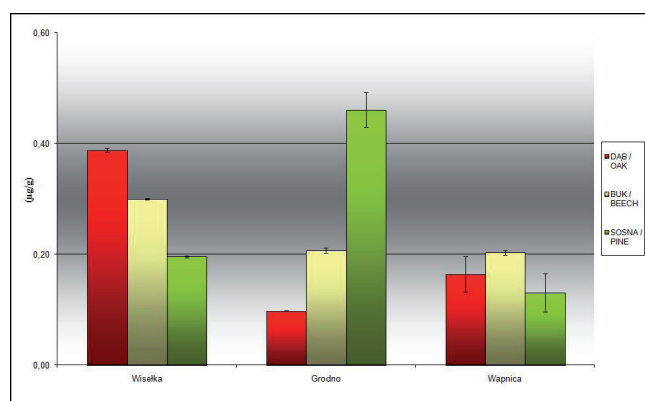
Najwyższą koncentrację miedzi w WoPN zanotowano w Wiselce (14,6  $\mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Wapnicy (7,1  $\mu\text{g/g}$ ). Natomiast stężenie w Grodnie wyniosło 8,0  $\mu\text{g/g}$  (ryc. 4). Najniższe stężenie cynku w liściach dębu stwierdzono w Grodnie (12  $\mu\text{g/g}$ ), a najwyższe w Wapnicy (22  $\mu\text{g/g}$ ). Koncentracja w Wiselce wyniosła



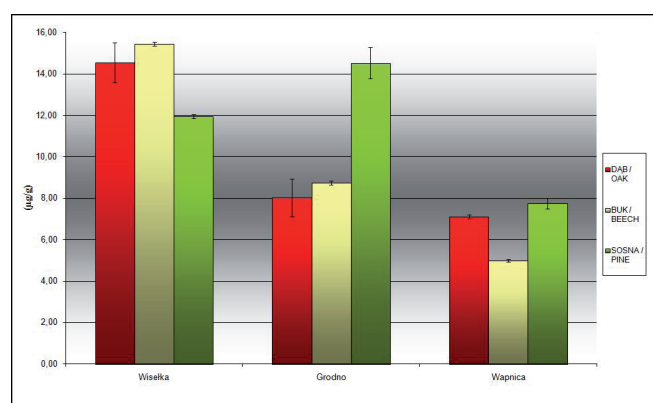
Ryc. 2. Średnie stężenia kadmu ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym  
 Fig. 2. Average cadmium concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks

20  $\mu\text{g/g}$ . Wszystkie wartości nie różniły się statystycznie między sobą (ryc. 5). Natomiast najwyższą koncentrację żelaza na terenie WoPN zanotowano w Wapnicy (89  $\mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Grodnie (56  $\mu\text{g/g}$ ). Stężenie w Wiselce wyniosło 66  $\mu\text{g/g}$  i nie różniło się istotnie od dwóch pozostałych powierzchni. Wartości z Grodna i Wapnicy różniły się statystycznie między sobą (ryc. 6).

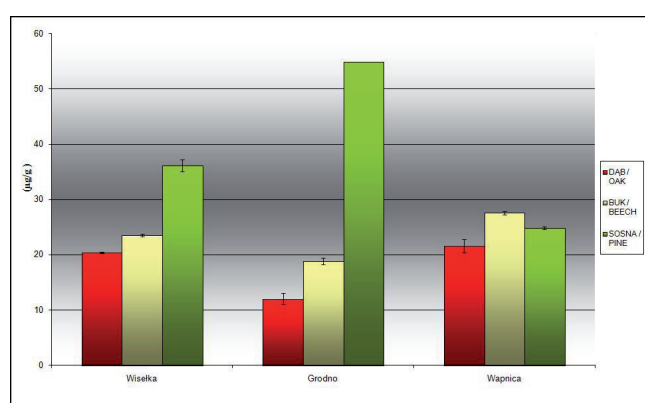
W WoPN najniższe stężenie wapnia w liściach dębu stwierdzono w Grodnie (7589  $\mu\text{g/g}$ ), a najwyższe w Wiselce (9914  $\mu\text{g/g}$ ). Koncentracja w Wapnicy wyniosła (9761  $\mu\text{g/g}$ ). Wszystkie te wartości nie różniły się istotnie między sobą (ryc. 7). Najwyższą koncentrację magnezu zanotowano w Wapnicy (931  $\mu\text{g/g}$ ),



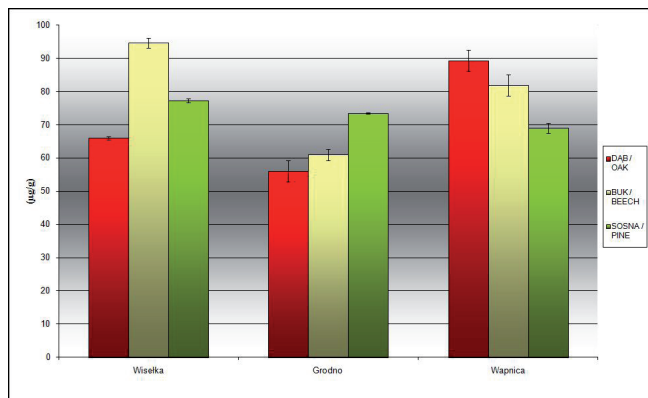
Ryc. 3. Średnie stężenia ołowiu ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym  
 Fig. 3. Average lead concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks



Ryc. 4. Średnie stężenia miedzi ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym  
 Fig. 4. Average copper concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks

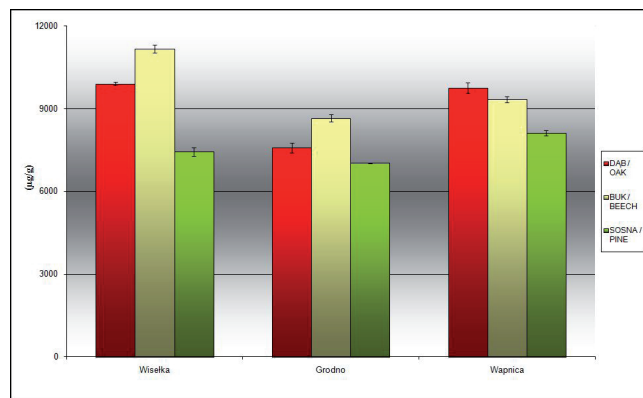


Ryc. 5. Średnie stężenia cynku ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym  
 Fig. 5. Average zinc concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks



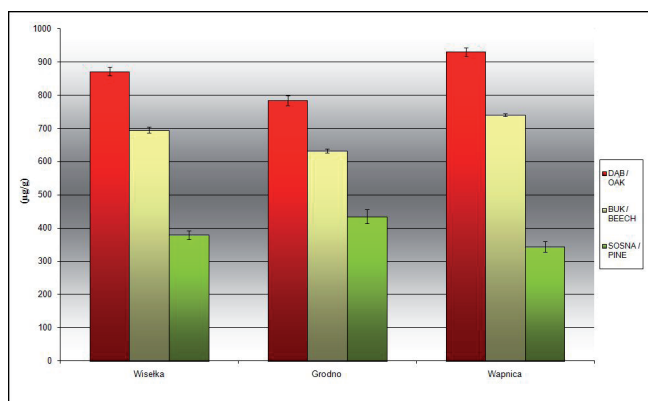
Ryc. 6. Średnie stężenia żelaza ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym

Fig. 6. Average iron concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks



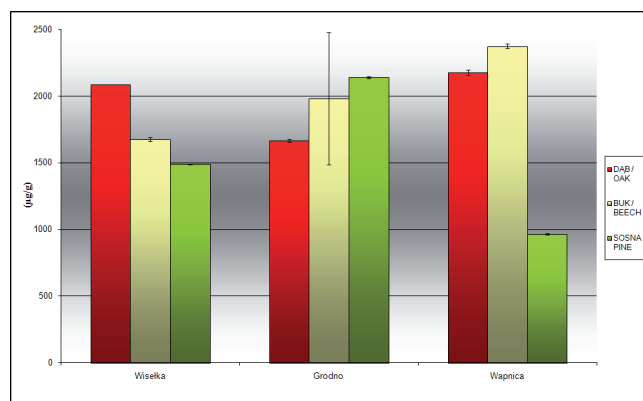
Ryc. 7. Średnie stężenia wapnia ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym

Fig. 7. Average calcium concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks



Ryc. 8. Średnie stężenia magnezu ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym

Fig. 8. Average magnesium concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks



Ryc. 9. Średnie stężenia potasu ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym

Fig. 9. Average potassium concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks

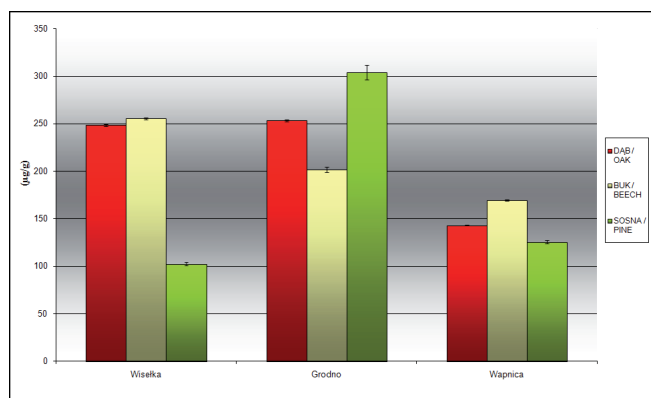
a najniższą w Grodnie ( $784 \mu\text{g/g}$ ). Natomiast stężenie w Wiselce wyniosło  $872 \mu\text{g/g}$  i nie różniło się statystycznie od dwóch pozostałych powierzchni. Wartości z Grodna i Wapnicy różniły się istotnie między sobą (ryc. 8). Również w Wapnicy zanotowano najwyższą koncentrację potasu ( $2180 \mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Grodnie ( $1667 \mu\text{g/g}$ ). Natomiast stężenie tego pierwiastka w Wiselce wyniosło  $2089 \mu\text{g/g}$  i nie różniło się statystycznie od dwóch pozostałych powierzchni. Wartości z Grodna i Wapnicy różniły się istotnie między sobą (ryc. 9). Najwyższą koncentrację sodu zanotowano w Grodnie ( $254 \mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Wapnicy ( $143 \mu\text{g/g}$ ). Natomiast stężenie tego pierwiastka w Wiselce wyniosło  $249 \mu\text{g/g}$  i nie różniło się statystycznie od dwóch po-

zostałych powierzchni. Wartości z Grodna i Wapnicy różniły się istotnie między sobą (ryc. 10).

W Wolińskim Parku Narodowym średnia zawartość azotu w liściach dęba wyniosła  $9,9 \text{ mg/g}$ , a średnia koncentracja siarki  $522 \mu\text{g/g}$  (tab. 2).

### 3.2.2. Koncentracja pierwiastków w liściach buka

Na obszarze WoPN najwyższą koncentrację kadmu zanotowano w liściach buka z Wiselki ( $0,30 \mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się istotnie statystycznie od stężeń z Grodna ( $0,21 \mu\text{g/g}$ ) i Wapnicy ( $0,20 \mu\text{g/g}$ ) (ryc. 2). Natomiast najwyższe stężenie ołowiu zanotowano w Grodnie ( $1,03 \mu\text{g/g}$ ). Koncentracja w Wapnicy wy-



Ryc. 10. Średnie stężenia potasu ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym

Fig. 10. Average potassium concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks

niosła ( $1,01 \mu\text{g/g}$ ), a w Wiselce ( $0,98 \mu\text{g/g}$ ). Wszystkie te wartości nie różniły się istotnie między sobą (ryc. 3).

W WoPN najniższe stężenie miedzi w liściach buka stwierdzono na powierzchni Wapnica ( $5,0 \mu\text{g/g}$ ), a najwyższe w Wiselce ( $15,6 \mu\text{g/g}$ ). Koncentracja w Grodnie wyniosła ( $8,8 \mu\text{g/g}$ ) i nie różniła się statystycznie od dwóch pozostałych powierzchni, ale stężenie z Wapnicy było istotnie niższe niż w Wiselce (ryc. 4). Najwyższą koncentrację cynku zanotowano w Wapnicy ( $28 \mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Grodnie ( $19 \mu\text{g/g}$ ). Natomiast stężenie w Wiselce wyniosło  $24 \mu\text{g/g}$  i nie różniło się statystycznie od dwóch pozostałych powierzchni. Wartości z Grodna i Wapnicy różniły się istotnie między sobą (ryc. 5). Najniższe stężenie żelaza w liściach buka stwierdzono w Grodnie ( $61 \mu\text{g/g}$ ), a najwyższe w Wiselce ( $95 \mu\text{g/g}$ ). Te wartości różniły się statystycznie między sobą. Koncentracja w Wapnicy wyniosła ( $82 \mu\text{g/g}$ ) i nie różniła się istotnie od powierzchni w Grodnie i Wiselce (ryc. 6).

Na obszarze WoPN najniższe stężenie wapnia w liściach buka stwierdzono w Grodnie ( $8658 \mu\text{g/g}$ ), a najwyższe w Wiselce ( $11\ 185 \mu\text{g/g}$ ). Te wartości różniły się istotnie statystycznie między sobą. Koncentracja w Wapnicy wyniosła ( $9338 \mu\text{g/g}$ ) i nie różniła się statystycznie od powierzchni w Grodnie i Rostajnie (ryc. 7). Natomiast najwyższą koncentrację magnezu w liściach buka zanotowano w Wapnicy ( $742 \mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Grodnie ( $633 \mu\text{g/g}$ ). Natomiast stężenie w Wiselce wyniosło  $696 \mu\text{g/g}$  i nie różniło się istotnie od dwóch pozostałych powierzchni. Wartości z Grodna i Wapnicy różniły się statystycznie między sobą (ryc. 8). Najniższą koncentrację potasu zanotowano w Wiselce ( $1675 \mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się

Tab. 2. Średnie stężenia azotu i siarki ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) w liściach: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* i *Pinus sylvestris* w Wolińskim Parku Narodowym ( $N = 9$ )

Tab. 2. Average nitrogen and sulphur concentrations ( $\mu\text{g/g}$  d.w.) in leaves: *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* in Wolinski National Parks ( $N = 9$ )

Pierwiastek /Element	Dąb/Oak $X \pm SE$	Buk/Beech $X \pm SE$	Sosna/Pine $X \pm SE$
N	$9,9 \pm 1,3$	$10,5 \pm 1,1$	$9,2 \pm 1,3$
S	$522 \pm 49$	$739 \pm 114$	$394 \pm 100$

istotnie od stężeń z Grodna ( $1983 \mu\text{g/g}$ ) i Wapnicy ( $2376 \mu\text{g/g}$ ). Także obie te wartości nie różniły się statystycznie między sobą (ryc. 9). Natomiast najwyższą koncentrację sodu w WoPN zanotowano w Wiselce ( $256 \mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Wapnicy ( $170 \mu\text{g/g}$ ). Obie te wartości różniły się istotnie. Stężenie w Grodnie wyniosło  $202 \mu\text{g/g}$  i nie różniło się statystycznie od dwóch pozostałych wartości (ryc. 10).

W WoPN średnia zawartość azotu w liściach buka wyniosła  $10,5 \text{ mg/g}$ , a średnia koncentracja siarki  $739 \mu\text{g/g}$  (tab. 2).

### 3.2.3. Koncentracja pierwiastków w igłach sosny

Najwyższą koncentrację kadmu w igłach sosny w WoPN zanotowano w Grodnie ( $0,46 \mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Wapnicy ( $0,13 \mu\text{g/g}$ ). Stężenie w Wiselce wyniosło ( $0,20 \mu\text{g/g}$ ). Wszystkie te wartości nie różniły się istotnie statystycznie między sobą (ryc. 2). Natomiast najwyższą koncentrację ołowiu zanotowano w Wiselce ( $1,31 \mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się statystycznie od stężeń z Grodna ( $0,99 \mu\text{g/g}$ ) i Wapnicy ( $0,98 \mu\text{g/g}$ ) (ryc. 3).

Na obszarze WoPN najwyższą koncentrację miedzi zanotowano w Grodnie ( $14,5 \mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się istotnie od stężenia z Wiselki ( $11,9 \mu\text{g/g}$ ), natomiast była statystycznie wyższa niż koncentracja w Wapnicy ( $7,8 \mu\text{g/g}$ ). Stężenie miedzi z Wiselki nie różniło się istotnie od stężenia z Wapnicy (ryc. 4). Natomiast najwyższą koncentrację cynku zanotowano w Grodnie ( $55 \mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się statystycznie od stężenia z Wiselki ( $36 \mu\text{g/g}$ ), ale była istotnie wyższa od koncentracja w Wapnicy ( $25 \mu\text{g/g}$ ). Stężenie cynku z Wiselki nie różniło się statystycznie od stężenia z Wapnicy (ryc. 5). Najwyższą koncentrację żelaza w WoPN zanotowano w Wiselce ( $77 \mu\text{g/g}$ ), a najniższą w Wapnicy ( $69 \mu\text{g/g}$ ). Obie te wartości różniły się istotnie między sobą. Natomiast stężenie

w Grodnie wyniosło 74  $\mu\text{g/g}$  i nie różniło się statystycznie od dwóch pozostałych powierzchni (ryc. 6).

Najwyższą koncentrację wapnia w igłach sosny na obszarze WoPN zanotowano w Wapnicy (8119  $\mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się istotnie od stężenia z Wiselki (7442  $\mu\text{g/g}$ ), natomiast była statystycznie wyższa niż koncentracja w Grodnie (7033  $\mu\text{g/g}$ ). Stężenie wapnia w igłach sosny z Wiselki nie różniło się istotnie od stężenia z Wapnicy (ryc. 7). Natomiast najwyższą koncentrację magnezu zanotowano w Grodnie (435  $\mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się statystycznie od stężeń z Wiselki (379  $\mu\text{g/g}$ ) i Wapnicy (344  $\mu\text{g/g}$ ) (ryc. 8). Także w Grodnie zanotowano najwyższą koncentrację potasu (2141  $\mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się istotnie od stężenia z Wiselki (1490  $\mu\text{g/g}$ ), ale była statystycznie wyższa niż koncentracja w Wapnicy (964  $\mu\text{g/g}$ ). Stężenie z Wiselki nie różniło się istotnie od stężenia z Wapnicy (ryc. 9). Najwyższą koncentrację sodu na obszarze WoPN zanotowano również w Grodnie (304  $\mu\text{g/g}$ ). Ta wartość nie różniła się statystycznie od stężenia tego pierwiastka w igłach sosny z Wapnicy (126  $\mu\text{g/g}$ ), ale różniła się istotnie od koncentracji z Wiselki (103  $\mu\text{g/g}$ ). Wartości sodu w Wapnicy i w Wiselce nie wykazały różnic statystycznych (ryc. 10).

Na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego średnia zawartość azotu w igłach sosny wyniosła 9,9 mg/g, a średnia koncentracja siarki 394  $\mu\text{g/g}$  (tab. 2).

### 3.3. Koncentracja metali w opadzie liści i ich dopływ do dna lasu

Średni opad liści wszystkich gatunków drzew, z trzech powierzchni WoPN, wyniósł 225,9 g/m<sup>2</sup>. Gatunkiem dominującym w opadzie ściółki był buk. Drugim pod względem ilościowym gatunkiem był dąb, a trzecim sosna. W WoPN wystąpiła mała różnorodność liści w opadzie, oprócz trzech gatunków dominujących wystąpiły tam w mniejszych ilościach: brzoza, grab, modrzew, jodła i inne.

Na terenie WoPN średnia koncentracja kadmu

w próbie mieszanej wynosiła 0,21  $\mu\text{g/g}$ , a średni dopływ tego metalu do dna lasu wraz z opadającymi liśćmi wyniósł 47  $\mu\text{g/m}^2$ . Najwyższy dopływ kadmu do dna lasu zanotowano w Grodnie (65  $\mu\text{g/m}^2$ ). Wartość ta różniła się istotnie statystycznie od dopływu w Wiselce (41  $\mu\text{g/m}^2$ ) i Wapnicy (38  $\mu\text{g/m}^2$ ). Natomiast obie te wartości nie różniły się istotnie między sobą (tab. 3). Średnia koncentracja ołowiu w próbie mieszanej wyniosła 0,99  $\mu\text{g/g}$ . Dopływ ołowiu do dna lasu wraz z opadającymi liśćmi w WoPN wyniósł 224  $\mu\text{g/m}^2$ . Najniższy dopływ ołowiu do dna lasu stwierdzono w Wapnicy (184  $\mu\text{g/m}^2$ ). Wartość ta różniła się statystycznie od dopływu z Grodna (281  $\mu\text{g/m}^2$ ), ale nie różniła się istotnie od wartości z Wiselki (204  $\mu\text{g/m}^2$ ). Dopływ ołowiu w Grodnie nie różnił się statystycznie od dopływu ołowiu z Wiselki (tab. 3).

Średnia koncentracja miedzi w opadzie ściółki wyniosła 5,5  $\mu\text{g/g}$ . Wszystkie te wartości różniły się istotnie między sobą. Dopływ miedzi do dna lasu w WoPN wyniósł 1,24 mg/m<sup>2</sup>. Najwyższy zanotowano w Grodnie (1,53 mg/m<sup>2</sup>). Wartość ta różniła się istotnie od dopływu w Wapnicy (0,90 mg/m<sup>2</sup>), ale nie różniła się statystycznie od powierzchni w Wiselce (1,30 mg/m<sup>2</sup>). Natomiast dopływ z Wiselki różnił się istotnie od dopływu w Wapnicy (tab. 3). Średnia zawartość cynku w próbie mieszanej wyniosła 53  $\mu\text{g/g}$ . Dopływ cynku wraz z opadem ściółki do dna lasu wyniósł 5 mg/m<sup>2</sup>. Najwyższy zanotowano w Grodnie (6 mg/m<sup>2</sup>). Wartość ta różniła się statystycznie od dopływu w Wiselce (4 mg/m<sup>2</sup>) i Wapnicy (5 mg/m<sup>2</sup>). Natomiast obie te wartości nie różniły się istotnie między sobą (tab. 3). Średnia koncentracja żelaza w opadzie w WoPN wyniosła 96  $\mu\text{g/g}$ . Natomiast dopływ tego metalu do dna lasu był równy 22 mg/m<sup>2</sup>. Najwyższy dopływ żelaza zanotowano w Grodnie (26 mg/m<sup>2</sup>), a najniższą koncentrację tego pierwiastka stwierdzono w Wiselce (19 mg/m<sup>2</sup>). Natomiast w Wapnicy dopływ żelaza do dna lasu wyniósł 20 mg/m<sup>2</sup>. Wartości te nie różniły się między sobą (tab. 3).

Na obszarze WoPN średnia koncentracja wap-

Tab. 3. Średni dopływ pierwiastków ( $\mu\text{g/m}^2$ ) wraz z opadem liści (próba mieszana) do dna lasu w Wolińskim Parku Narodowym  
Tab. 3. Average input of elements ( $\mu\text{g/m}^2$ ) with fall leaves out (mixed leaves) to the forest floor in Wolinski National Park

Miejsce/ Place	Dopływ do dna lasu ( $\mu\text{g/m}^2$ )/Input to the forest floor ( $\mu\text{g/m}^2$ )								
	Cd X $\pm$ SE	Pb X $\pm$ SE	Cu X $\pm$ SE	Zn X $\pm$ SE	Fe X $\pm$ SE	Ca X $\pm$ SE	Mg X $\pm$ SE	K X $\pm$ SE	Na X $\pm$ SE
Wiselka	38 $\pm$ 0,2	204 $\pm$ 0,90	1,30 $\pm$ 0,13	19 $\pm$ 0,12	542 $\pm$ 0,89	2015 $\pm$ 131,70	151 $\pm$ 11,33	397 $\pm$ 5,36	38 $\pm$ 1,35
Grodno	65 $\pm$ 9,1	281 $\pm$ 1,20	1,53 $\pm$ 0,09	26 $\pm$ 0,42	393 $\pm$ 0,85	2547 $\pm$ 113,27	202 $\pm$ 6,98	396 $\pm$ 22,05	61 $\pm$ 0,15
Wapnica	41 $\pm$ 0,1	184 $\pm$ 0,21	0,90 $\pm$ 0,05	20 $\pm$ 0,11	419 $\pm$ 1,23	1978 $\pm$ 25,90	134 $\pm$ 4,75	404 $\pm$ 11,78	32 $\pm$ 1,37



nia wyniosła 9761  $\mu\text{g/g}$ . Stwierdzono, że ilość wapnia dopływającą do dna lasu wynosi 2205  $\text{mg/m}^2$ . Najwyższy dopływ wapnia zanotowano w Grodnie (2547  $\text{mg/m}^2$ ), a najniższy w Wapnicy (1978  $\text{mg/m}^2$ ). Natomiast dopływ w Wisielce wyniósł 2015  $\text{mg/m}^2$ . Pomiedzy tymi trzema powierzchniami nie wykazano różnic istotnie statystycznych (tab. 3). Na badanych powierzchniach WoPN średnia koncentracja magnezu w opadzie ściółki wyniosła 721  $\mu\text{g/g}$ . Natomiast średni dopływ magnezu wraz z opadającymi liśćmi do dna lasu wyniósł 163  $\text{mg/m}^2$ . Najwyższy dopływ magnezu zanotowano w Grodnie (202  $\text{mg/m}^2$ ), a najniższą koncentrację tego pierwiastka stwierdzono w Wapnicy (134  $\text{mg/m}^2$ ). Natomiast w Wisielce dopływ magnezu wyniósł 151  $\text{mg/m}^2$ . Pomiedzy wszystkimi powierzchniami nie wykazano różnic statystycznych (tab. 3). Średnia koncentracja potasu stwierdzona w WoPN wyniosła 1824  $\mu\text{g/g}$ . Dopływ tego metalu do dna lasu wyniósł 412  $\text{mg/m}^2$ . Najwyższy dopływ zanotowano w Wisielce (404  $\text{mg/m}^2$ ), a najniższy stwierdzono w Grodnie (396  $\text{mg/m}^2$ ). Natomiast dopływ potasu w Wapnicy wyniósł 397  $\text{mg/m}^2$ . Pomiedzy tymi trzema powierzchniami nie wykazano różnic istotnie statystycznych (tab. 3). Średnie stężenie sodu w WoPN wynosiło 190  $\mu\text{g/g}$ . Dopływ tego metalu do dna lasu wyniósł 43  $\text{mg/m}^2$ . Najniższy dopływ sodu stwierdzono w Wapnicy (32  $\text{mg/m}^2$ ). Wartość ta różniła się istotnie od dopływu z Grodna (61  $\text{mg/m}^2$ ), ale nie różniła się istotnie statystycznie od wartości z Wisielki (38  $\text{mg/m}^2$ ). Dopływ sodu w Grodnie nie różnił się statystycznie od dopływu sodu z Wisielki (tab. 3).

W WoPN średnia zawartość azotu w próbie mieszanej wyniosła 9,4  $\text{mg/g}$ , a dopływ tego pierwiastka wyniósł 2,120  $\text{g/m}^2$ . Natomiast koncentracja siarki w próbie mieszanej była równa 0,869  $\text{mg/g}$ , a jej dopływ do dna lasu wyniósł 0,196  $\text{g/m}^2$ .

#### 4. Podsumowanie

Pomysł zastosowania żywych organizmów do określenia kondycji środowiska oparto na założeniu, że istnieje pewnego rodzaju równowaga między danymi czynnikami środowiskowymi a potrzebami bytowymi pewnych organizmów. Już w XVI wieku wykorzystywano rośliny, które jako organizmy wskaźnikowe były pomocne w poszukiwaniu rud i określaniu żyzności gleb. Gdy nastąpił rozwój przemysłu okazało się, że rośliny mogą służyć nie tylko do określenia naturalnych warunków danego obszaru, ale również mogą dostarczać informacji jakościowej i ilościowej na temat zmian zachodzących w środowisku pod

wpływem antropopresji. Rośliny jako akumulatory są uniwersalnym, niezawodnym i niedrogim materiałem badawczym. Ich duże zdolności do pochłaniania i magazynowania pierwiastków, przyczyniają się do obiegu materii w tym także zanieczyszczeń (np. obiegu metali w ekosystemie leśnym) (Sawicka-Kapusta, 1990; Wardencki, 2004).

Na podstawie uzyskanych wyników z plech porostów *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. dokonano oceny zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w Wolińskim Parku Narodowym. Wykazano tutaj niską wartość średnią dla kadmu, ołowiu, miedzi oraz żelaza. Niestety dla całego obszaru Parku stwierdzono wysoką średnią koncentrację siarki, świadczącą jednak o zanieczyszczeniu parku dwutlenkiem siarki.

Analizowano poziom metali w liściach trzech gatunków drzew w celu oceny zanieczyszczenia środowiska WoPN. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że biowskaźnikowe gatunki nie przekroczyły granicy naturalnej zawartości kadmu. Poziomy z WoPN można przyjąć za zawartość naturalną tego metalu w liściach (ryc. 2). Różnice koncentracji ołowiu w poszczególnych gatunkach nie były zbyt duże i tym samym nie można wskazać wyraźnego akumulatora tego metalu. Najwięcej akumulował dąb. Jednak stężenia we wszystkich gatunkach badanych liści nie przekroczyły naturalnej zawartości tego pierwiastka (ryc. 3). Dla miedzi najwyższe stężenie stwierdzono w sośnie. Na badanych terenach koncentracja zawartości miedzi w liściach gatunków biowskaźnikowych nie przekroczyła naturalnej granicy zawartości miedzi w roślinach. W związku z czym można stwierdzić, że średnie stężenia miedzi w liściach nie wskazały na zanieczyszczenie WoPN (ryc. 4). Natomiast najwyższa koncentracja cynku była w igłach sosny. Najprawdopodobniej związane to jest ze zwiększoną zdolnością tego gatunku do akumulacji cynku. Natomiast najniższe koncentracje tego pierwiastka stwierdzono w liściach dębu. Na żadnej powierzchni nie została przekroczona naturalna, fizjologiczna zawartość tego metalu (ryc. 5). W przypadku żelaza najwyższe koncentracje tego metalu stwierdzono w liściach buka. Podobnie jak w przypadku innych pierwiastków nie stwierdzono zanieczyszczenia WoPN tym metalem (ryc. 6). Dla wapnia najwyższe średnie stężenie stwierdzono w liściach buka. Natomiast najniższą koncentrację tego pierwiastka odnotowano w sośnie (ryc. 7). W przypadku magnezu najniższe koncentracje tego metalu stwierdzono w sośnie, natomiast najwyższe w dębie (ryc. 8). Najwyższa koncentracja potasu była w liściach buku

(ryc. 9). Średnie koncentracje sodu były najwyższe w liściach dębu, a najniższe w szpilkach sosny (ryc. 10). W żadnym z badanych gatunków biowskaźnikowych nie zaobserwowano przekroczenia fizjologicznych i naturalnych poziomów stężeń.

Metale obecne w liściach drzew lub zatrzymane na ich powierzchni, dopływając wraz ze ściółką do dna lasu, mają duży wpływ na ilość pierwiastków w powierzchniowych warstwach gleby, jak również na dostępność tych metali dla roślin. Nadmierna ilość metali ciężkich w liściach może hamować proces dekompozycji ściółki i tym samym powodować wolniejszy obieg nutrietów w ekosystemie (Berg i Laskowski, 2006). Na terenie Wolińskiego Parku Narodowego odnotowano niską koncentrację kadmu i ołowiu w dopływie do dna lasu (tab. 3), jak również zawartość ich w próbie mieszanej. Najwyższy dopływ tych pierwiastków zanotowano w Grodnie (tab. 3). Może to mieć związek z tym, że w pobliżu tej powierzchni przebiega ruchliwa trasa, jak również że jest to teren ośrodka i leży najbliżej morza, w związku z czym nie ma strefy buforowej i tym samym miejsce to może być bardziej narażone na zanieczyszczenia przenoszone z wiatrem, nawet na zanieczyszczenia transgraniczne. Oprócz tego mamy tutaj do czynienia z napływem zanieczyszczeń z lokalnych źródeł (m.in. z Międzyzdrojów i Wiselki). Średni dopływ Cu, Zn, Fe, Ca i Mg do dna lasu na wszystkich trzech powierzchniach WoPN wykazywał podobne zależności. Odnotowano na nich niskie koncentracje tych pierwiastków w próbie mieszanej, jak również w dopływie do dna lasu. Najwyższy dopływ tych pierwiastków do dna lasu odnotowano w Grodnie (tab. 3). Wystąpiła tutaj podobna zależność jak w przypadku kadmu i ołowiu. Cu, Zn, Fe, Ca i Mg należą już do pierwiastków fizjologicznych i w związku z czym występują w znacznej ilości w organizmie roślin. Oczywiście mają swoją górną i dolną granicę zawartości, przy której nie działają na roślinę w sposób negatywny. Przekroczenie granicy powoduje skutki uboczne. Najwyższą ilość potasu w dopływie zanotowano w Wiselce (WoPN) (tab. 3). Jeśli chodzi o koncentrację sodu w próbie mieszanej, jak również dopływ tego pierwiastka do dna lasu, to w WoPN stwierdzono podwyższoną zawartość tego metalu (tab. 3). Najwyższe stężenie sodu w dopływie zanotowano w Grodnie (tab. 3). Koncentracja z WoPN wiąże się z zasoleniem nadmorskich gleb i jest tym samym najwyższa na powierzchni położonej najbliżej morza, dzięki stałemu zasilaniu w roztwory soli przez wody Bałtyku (Zawadzki, 1999). Dopływ siarki i azotu do dna lasu wraz z opadem ściółki na terenie Wolińskiego Parku Narodowego był niewielki i niższy aniżeli stwierdzony w zlewni Ratany w latach dzie-

więćdziesiątych (Grodzińska i Laskowski, 1996). Na podstawie analizy dopływu metali ciężkich do dna lasu należy uznać, że WoPN należy do czystych parków. Podobnie wcześniejsze badania Kruczek (2006), prowadzone na innych powierzchniach WoPN, potwierdziły niski dopływ metali (Cd, Pb, Cu, Zn i Fe) i w związku z tym obecnie środowisko WoPN nie jest zagrożone.

Woliński Park Narodowy znajduje się w północno-zachodniej części Polski. Obszar ten jest generalnie zaliczany do terenów czystych. W bezpośrednim sąsiedztwie parku brak jest dużych okręgów przemysłowych czy aglomeracji miejskich. Podwyższone koncentracje metali w niektórych punktach zbioru porostów, a także wysokie koncentracje siarki są spowodowane przede wszystkim emisją ze źródeł lokalnych. Na terenie Wolińskiego Parku Narodowego występują obszary zabudowane, m.in. jednostka wojskowa w Białej Górze, ośrodki wypoczynkowe Grodno I, Grodno II, budynki i zabudowania dyrekcji oraz strażników parku. Za największe źródło negatywnych oddziaływań człowieka na Park uznano jednak obszary osadnicze strefy granicznej. Zaliczono tutaj kilka miejscowości: Lubin, Wapnica, Wicko, Zalesie, Międzyzdroje, Wiselka oraz Warnowo. Obszary tego typu oddziałują m.in. przez emisję zanieczyszczeń pyłowych i gazowych z emitorów niskich (zabudowa mieszkaniowa) oraz emitorów wysokich (ośrodki wczasowe i hotele). Występują tu również punktowe źródła emisji gazów pochodzących z licznych indywidualnych palenisk kotłowych (Nagler, 2003). Drugim źródłem lokalnych zanieczyszczeń są linie komunikacyjne występujące zarówno na terenie Parku, jak i w jego strefie granicznej. Przez obszar Wolińskiego Parku Narodowego przeprowadzone są m.in. droga międzynarodowa relacji Szczecin–Międzyzdroje–Świnoujście (nr 3), droga krajowa Międzyzdroje–Wiselka (nr 102) oraz szereg lokalnych, m.in. Wiselka–Warnowo, Wapnica–Trzciągowo. Ponadto występuje linia kolejowa relacji Szczecin–Międzyzdroje–Świnoujście. Wspomniane ciągi komunikacyjne są źródłem emisji gazów spalinowych ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) oraz pyłów i związków organicznych (Lewicki i Jakuczun, 2000; Nagler, 2003). Woliński Park Narodowy znajduje się również pod wpływem zanieczyszczeń powietrza dalekiego zasięgu. Jest to wynikiem warunków meteorologicznych panujących na tym obszarze. Wieloletnie obserwacje wykazały, że na terenie województwa zachodniopomorskiego przeważają wiatry wiejące z kierunków zachodnich i południowo-zachodnich. Ponadto w 2005 roku w części wschodniej dość znaczny był udział wiatrów wschodnich. Na wszystkich stacjach pomiarowych przeważały one w miesiącach: marzec, kwiecień, wrzesień i paź-

dziernik (Landsberg-Uczciwek, 2006). Do zewnętrznych źródeł oddziaływania na Park zaliczono miejscowości: Świnoujście, Kamień Pomorski, Wolin, Police oraz Szczecin – tworzące ośrodki dalszego sąsiedztwa (Nagler, 2003). Woliński Park Narodowy narażony jest także na emisje napływowe z Niemiec.

Ostatnio na podstawie badań biomonitoringowych na obszarach północnej Polski stwierdzono podwyższone koncentracje kadmu, cynku i dwutlenku siarki w powietrzu, co może stanowić zagrożenie dla Wolińskiego Parku Narodowego (Sawicka-Kapusta i wsp., 2010).

## 5. Literatura

- Bajorek K., Sawicka-Kapusta K., 2002:** *Poziom metali ciężkich w opadzie liści oraz dopływ metali do dna lasu jako efekt oddziaływania aglomeracji krakowskiej*. W: IV Krajowe Sympozjum. Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Poznań – Kórnik, 29.05 – 1.06.2001. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Berg B., Laskowski R., 2006:** *Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover*. Advances in Ecological Research 38. Elsevier.
- Grodzińska K., Laskowski R., 1996:** *Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni Potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa)*. PIOS, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 1-139.
- Jeran Z., Jaćimović R., Batic F., Mavsar R., 2002:** *Lichens as integrating air pollution monitors*. Environmental Pollution. 120: 107-113.
- Kruczek J., 2006.** *Ocena zanieczyszczenia Wolińskiego Parku Narodowego przy użyciu biowskaźników roślinnych*. Kraków: Praca magisterska. ZMŚ INoŚ UJ.
- Landsberg-Uczciwek M. (red.), 2006:** *Roczna ocena jakości powietrza w województwie zachodniopomorskim – Raport za rok 2005*. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie.
- Lewicki I. Jakuczun B., 2000:** *Woliński Park Narodowy*. Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Nagler T., 2003:** *Relief*. W: A. Kostrzewski (red.). *Identyfikacja oraz analiza stref konfliktowych Wolińskiego Parku Narodowego*. Woliński Park Narodowy – środowisko przyrodnicze, kształtowanie i ochrona. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 105–111.
- Nałęcz-Jawecki G., 2000:** *Bioindykacja – biologiczne metody badania toksyczności środowiska*. Akademia Medyczna w Warszawie.
- Sawicka-Kapusta K., 1990:** *Reakcja roślin na dwutlenek siarki i metale ciężkie w środowisku – bioindykacja*. Wiadomości Ekologiczne. 36: 95-109.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J., Stochmal M., 2005:** *Ocena narażenia środowiska obszarów chronionych. Zanieczyszczenie metalami i SO<sub>2</sub> parków narodowych*. Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Pizło A., Marek A., 2008:** *Zanieczyszczenie powietrza na terenie stacji bazowych ZMŚP w 2007 roku na podstawie koncentracji metali ciężkich i siarki w plechach porostu Hypogymnia physodes*. Monitoring Środowiska Przyrodniczego. 9/08: 71-77.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Hajduk J., 2010:** *Ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w latach 2001–2009 z wykorzystaniem porostu Hypogymnia physodes*. Monitoring Środowiska Przyrodniczego. W druku.
- Wardencki W. (red.), 2004:** *Bioanalitika w ocenie zanieczyszczeń środowiska*. Gdańsk: Centrum Doskonałości Analityki i Monitoring Środowiskowego (CEEAM), Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska.
- Wilson R., Spengler J.D., 1996:** *Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects*. Harvard School of Public Health. Harvard University Press.
- Zawadzki S. (red.), 1999:** *Gleboznawstwo*. Warszawa: PWRiL.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL  
POLLUTION BY METALS, SULPHURE  
DIOXIDE AND NITROGEN IN  
WOLINSKI NATIONAL PARK

*Summary*

The assessment of environmental pollution in Wolinski National Park was taken place in the period of 2005-2006. Heavy metals accumulation (Cd, Pb, Cu, Fe, Zn) and sulphure dioxide were estimated in *Hypogymnia physodes (L.) Nyl*. Lichens were collected from 21 points in October 2005. One of the materials which was taken into research was litter fall and leaves from trees choosen as bioindicators: *Quercus petraea L.*/*Quercus robur L.*, *Fagus sylvatica L.* and *Pinus sylvestris L.* Research territory was divided into three area (Grodno, Wiselka, Wapnica). On each of them there were picketed 5 litter traps from October until November 2005.

Concentration of Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ca, Mg, K, Na, N, S was assessed after leaves collection. There was also calculated litter fall. Based on metal concentration in leaves we estimated the metal supply into the bottom of the forest. Low concentration of the researched metals in trees leaves indicate low air pollution in Wolinski National Park. The higher contamination was indicated in case of sulphure dioxide. None of the researched bioindicators showed exceed of either physiological or natural level of concentration. Concentration of Pb was the same in the case of each bioindicator species. Furthermore, the best accumulator were pine needles. The fall of sulphure and nitrogen into the bottom of the forest is lower than fall in Ratanica catchment in 90's and it is not threaten decomposition process in Wolinski National Park. On the base input of heavy metals to the forest floor there was affirmed that Wolinski National Park is unpolluted.