

MAŁGORZATA FALENCKA-JABŁOŃSKA

W analizach wpływu emisji przemysłowych na środowisko leśne uwzględnia się często epifityczne porosty. We współpracy z Wydziałem Biologii Uniwersytetu w Białymstoku przeprowadzono transplantację plech pustułki pęcherzykowej *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. i określono stopień żywotności jej symbionta glonowego zielonicy *Trebouxia* sp. Po ekspozycji na obszarze oddziaływania emisji przemysłowych pozwala to ocenić stopień zanieczyszczenia i koncentracji zanieczyszczeń powietrza w trzech strefach zagrożenia emisjami.

Obliczono udział komórek żywych i martwych. Wszystkie próby, które umieszczono na powierzchniach badawczych, cechowały się bardzo dobrą kondycją ga-

ła średnio od 103 do 127 i stanowiła od 96.5 do 99.2% wszystkich komórek. Liczba komórek martwych w żadnej próbie nie przekraczała 10, a ich udział wynosił od 0,8% do 3,5%.

Po ekspozycji, na wszystkich bez wyjątku powierzchniach odnotowano wyraźny wzrost liczby komórek martwych. Najwięcej było ich na powierzchniach nr 21 i 22 w Leśnictwie Życzyn, I strefa, położonych najdalej od emitatorów, najmniej

Zaobserwowano również na ekspozowanych plechach pojawiające się niewielkie zmiany w postaci przebarwień.

### Zróżnicowanie chemizmu gleb oraz bioindykatora – mchu *Pleurozium schreberi*

We współpracy z Wydziałem Geologii Uniwersytetu Warszawskiego przeprowadzono analizy chemizmu gleb, uwzględ-

Tabela 1. Żywotność fotobionta *Trebouxia* sp. przed ekspozycją i po, na powierzchniach badawczych – II strefa

Numer powierzchni	Numer próby	Przed ekspozycją					Po ekspozycji				
		Łączna liczba komórek	Liczba komórek żywych	Liczba komórek martwych	Procent komórek żywych	Procent komórek martwych	Łączna liczba komórek	Liczba komórek żywych	Liczba komórek martwych	Procent komórek żywych	Procent komórek martwych
23	23/A	105	101	4	96.2	3.8	97	81	16	83.5	16.5
	23/B	129	127	2	98.4	1.6	121	92	29	76.0	24.0
	23/C	123	121	2	98.4	1.6	115	97	18	84.3	15.7
	23/D	137	131	6	95.6	4.4	131	104	27	79.4	20.6
	23/A.1	130	130	0	100.0	0.0	119	96	23	80.7	19.3
	23/B.1	135	129	6	95.6	4.4	127	105	22	82.7	17.3
	23/C.1	106	104	2	98.1	1.9	101	84	17	83.2	16.8
	23/D.1	114	111	3	97.4	2.6	119	92	27	77.3	22.7
Wartość minimalna		105	101	0	95.6	0.0	97	81	16	76.0	15.7
Wartość maksymalna		137	131	6	100.0	4.4	131	105	29	84.3	24.0
Średnia		122.4	119.3	3.1	97.5	2.5	116.3	93.9	22.4	80.9	19.1
24	24/A	124	123	1	99.2	0.8	120	93	27	77.5	22.5
	24/B	129	127	2	98.4	1.6	131	107	24	81.7	18.3
	24/C	133	133	0	100.0	0.0	126	105	21	83.3	16.7
	24/D	111	110	1	99.1	0.9	117	99	18	84.6	15.4
Wartość minimalna		111	110	0	98.4	0.0	117	93	18	77.5	15.4
Wartość maksymalna		133	133	2	100.0	1.6	131	107	27	84.6	22.5
Średnia		124.3	123.3	1	99.2	0.8	123.5	101	22.5	81.8	18.2

Tabela 2. Udział obumarłych komórek fotobionta *Trebouxia* sp. w plechach *Hypogymnia physodes* po ekspozycji trzech stref oddziaływania Elektrowni „Kozienice”

Leśnictwo	Świerże Górne		Życzyn		Malamówka	
Powierzchnie badawcze	1	3	21	22	23	24
Różnica w zawartości obumarłych komórek fotobionta przed ekspozycją i po (%)	11	8.5	19.8	20.3	16.6	17.4

tunku wskaźnikowego pustułki pęcherzykowej. Były to plechy prawidłowo wykształcone, bez śladów nekroz ani innych niekorzystnych zmian na powierzchni. Liczba żywych komórek fotobionta *Trebouxia* sp. była bardzo duża (tab. 1), wynosi-

na powierzchniach nr 1 i 3 w Leśnictwie Świerże Górne, III strefa, położonych najbliższej emitatorów (tab. 2). Wyniki z powierzchni nr 23 i 24 w Leśnictwie Malamówka mieszczą się po środku (tab. 1 – II strefa), położonych 9-12 km od emitatorów.

niając warstwę ściółki jak i poziomy: 0-10 cm oraz 20 cm. Szczególną uwagę zwrócono na zróżnicowanie koncentracji metali ciężkich.

Ze wszystkich analizowanych powierzchni badawczych trzech stref oddziaływania Elektrowni „Kozienice” pobrano próby mieszane wierzchniej warstwy gleby i ściółki oraz próby bioindykatora, którym był mech rokitnik pospolity *Pleurozium schreberi*. Celem tych badań było określenie w glebie i mchu zawartości pierwiastków śladowych, tzn. miedzi, kadmu, cynku i ołowiu. Po wysuszeniu prób zostały one rozarte w moździerzu na pył o wielkości ziaren mniejszych niż 0,25 mm. Mi-

neralizowano je w zamkniętym systemie mikrofalowym, przy użyciu kwasów: azotowego i solnego z dodatkiem 30% perhydrolu. Następnie oznaczono badane pierwiastki śladowe spektrometrem absorpcji atomowej z atomizacją w płomieniu (Krogulec 2008).

Uzyskane wyniki świadczą, że zawartość cynku zarówno w glebie – 52,6-89,9 mg/kg, jak i mchu (będącym bioindykatorem wykorzystywanym od lat w monitoringu zanieczyszczeń) – 44,2-72,4 mg/kg mieści się w granicach norm. Warto podkreślić, że średnia zawartość tego pierwiastka w nie zanieczyszczonych glebach Polski wynosi 40 mg/kg.

Podobnie bezpieczny poziom swej zawartości poniżej 0,10 mg/kg gleby w glebie i mchu prezentował kadm.

Jednocześnie zawartość miedzi w glebie w granicach 7,3-10,7 mg/kg oraz w mchu 5,3-8,5 mg/kg świadczy, że są to wartości mieszczące się w obowiązujących normach formalno-prawnych. Gleby użytków rolnych województwa mazowieckiego wykazują wahania zawartości tego pierwiastka od 0,5 do 92,6 mg/kg.

Z kolei zawartość ołowiu w glebie była zróżnicowana i wahała się w szerokich granicach, gdyż wynosiła 4,1-25,4 mg/kg gleby, a w mchu poniżej 0,20 mg/kg. Wartości te są na granicy norm dopuszczalnych w Polsce. Należy jednak podkreślić, że w porównaniu z 1973 r., gdy zawartość tego pierwiastka wahała się w granicach 90-744 mg/kg, widać ewidentne obniżenie zawartości ołowiu.

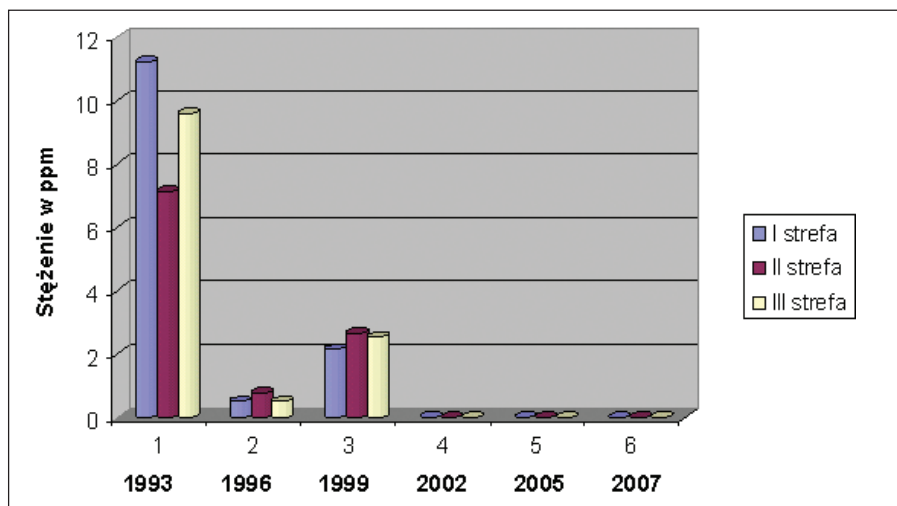
Bardzo ważny jest tu fakt, że ołów jest pierwiastkiem całkowicie zatrzymywany przez ściółkę, w czasie jej rozkładu jest wolniej uwalniany, niż następuje sam rozkład materii organicznej.

### Dynamika zmian poziomu zanieczyszczeń NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> oraz wilgotności

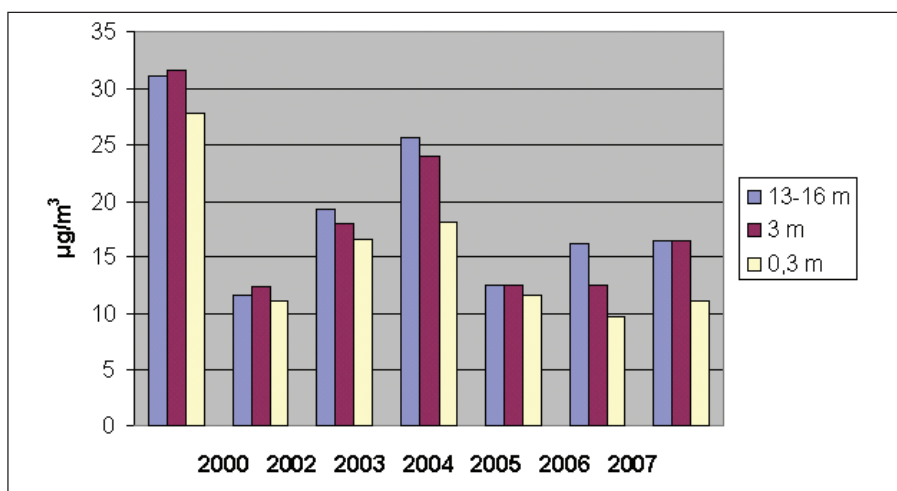
Dzięki wieloletniej, owocnej współpracy z Elektrownią „Kozienice” od 1993 r. na powierzchniach badawczych IBL, położonych w trzech strefach oddziaływania emisji przemysłowych, w październiku wykonywane są cykle pomiarowe stężenia NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> na trzech wysokościach: w koronach drzew (13-16 m), na 3 m oraz w warstwie runa na wysokości 0,3 m.

Zestawienie wartości stężenia NO<sub>x</sub> w zasięgu oddziaływania emisji świadczy, że najwyższe stężenie było w 1993 r. we wszystkich strefach, a mianowicie w III

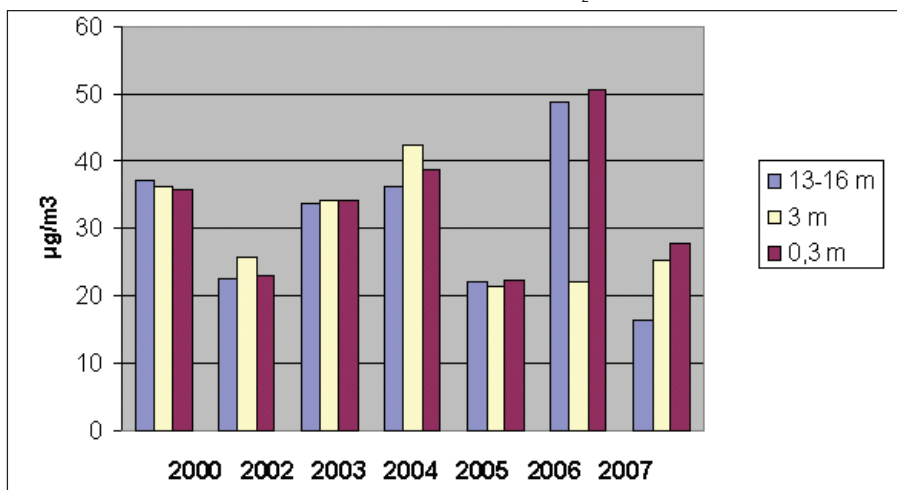
Rys. 2. Zmiany stężenia SO<sub>2</sub> w latach 1993-2007



Rys.3. Zmiany stężenia NO<sub>x</sub>



Rys.4. Zmiany stężenia SO<sub>2</sub>

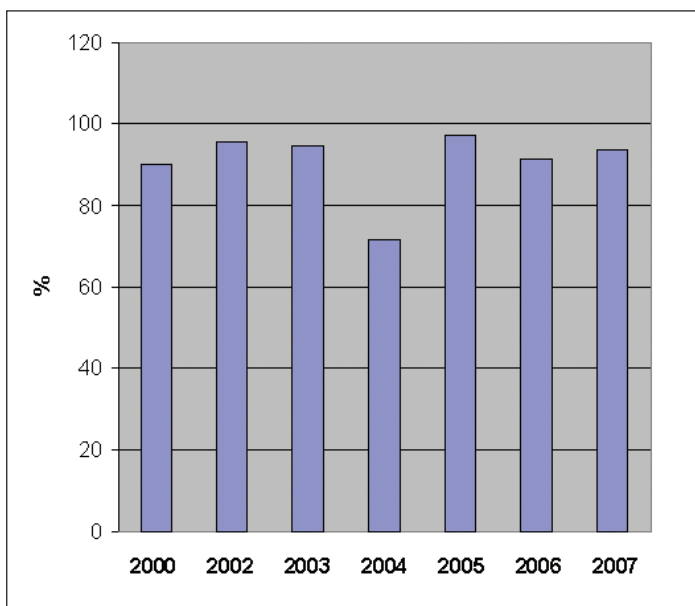


odnotowano wówczas wartość 15,6 ppm, w II strefie 8,3 ppm, a w I strefie 5,9 ppm. W kolejnych latach nastąpił ewidentny spadek stężenia tego związku a od 2001 roku utrzymuje się ono w trzech strefach na poziomie odpowiednio: 0,016 ppm, 0,06 ppm, 0,06 ppm (rys. 2).

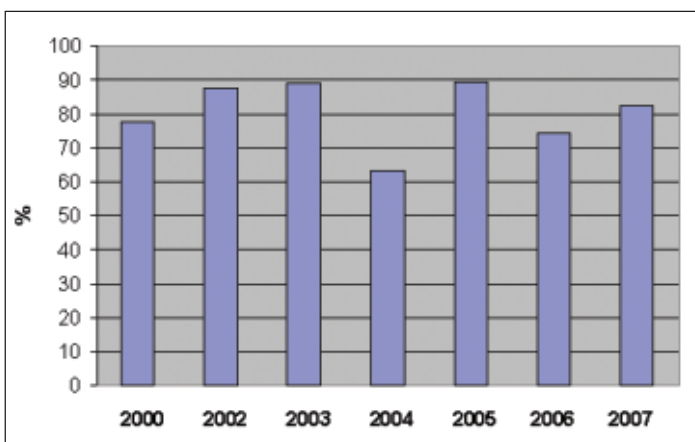
Podobnie najwyższe wartości uzyskano dla pomiarów stężenia SO<sub>2</sub>, gdyż w

zasięgu oddziaływania emisji w 1993 r. we wszystkich strefach, a mianowicie w III odnotowano wówczas 9,6 ppm, w II strefie 7,2 ppm, a w I strefie 11,2 ppm. W 1999 roku odnotowano ewidentny wzrost, a mianowicie w III strefie 2,6 ppm, w II 2,6 ppm a w I 2,5 ppm. W kolejnych latach nastąpił spadek stężenia tego związku do 0,08 ppm, 0,005 ppm i 0,01 ppm w 2007 r. (rys. 3).

Rys. 5. Zmiany wilgotności w koronach



Rys. 6. Zmiany wilgotności na wysokości 3 m



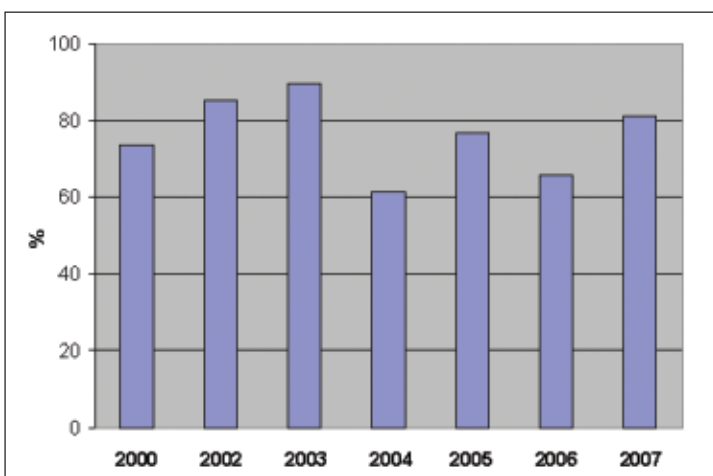
Istotne jest również zestawienie wartości stężenia zanieczyszczeń gazowych w koronach drzew, na wysokości 3 m oraz w warstwie runa na wysokości 0,3 m w latach 2000-2007.

Wartości stężenia  $\text{NO}_x$  osiągnęły w warstwie koron maksimum  $31 \text{ mg/m}^3$  w 2000

roku, a minimum  $12 \text{ mg/m}^3$  w 2005 r. Natomiast na wysokości 3 m maksimum stężenia  $32 \text{ mg/m}^3$  wystąpiło w 2000 roku, a minimum  $12 \text{ mg/m}^3$  w 2005 r. W warstwie runa maksimum stężenia odnotowano w 2000 r. –  $28 \text{ mg/m}^3$  a minimum  $9,5 \text{ mg/m}^3$  w 2006 r. (rys. 4).

Natomiast stężenia  $\text{SO}_2$  osiągnęły w warstwie koron maksimum  $49 \text{ mg/m}^3$  w 2006 roku a minimum  $18 \text{ mg/m}^3$  w 2007 roku. Na wysokości 3 m maksimum stężenia  $41 \text{ mg/m}^3$  wystąpiło w 2004 r., a minimum  $20,5 \text{ mg/m}^3$  w 2005 roku. W warstwie runa maksimum stężenia odnotowano w 2006

Rys. 7. Zmiany wilgotności na wysokości 0,3 m



roku – 50,5 mg/m<sup>3</sup> a minimum 0,5 mg/m<sup>3</sup> w 2005 r. (rys. 5).

Istotnym czynnikiem odgrywającym znaczną rolę w koncentracji zanieczyszczeń jest wilgotność powietrza. Pomiary przeprowadzone w latach 2000-2007 wskazują, że w warstwie koron drzew wilgotność ta jest wyjątkowo stabilna, a wartości jej oscylują w granicach 90-95% (rys. 5). Na wysokości 3 m wilgotność w analizowanych latach oscylowała wokół 80%, wyjątek stanowił jedynie rok 2004, gdy odnotowano wartość 60% (rys. 6).

Największe wahania stopnia wilgotności w latach 2000-2007 stwierdzono w warstwie runa, na wysokości 0,3 m. Najwyższą wartość 85% odnotowano w 2003 roku, natomiast najniższą 65% w 2006 r. (rys. 7).

Przed uruchomieniem Elektrowni „Kozienice” wyznaczono, zgodnie z teoretycznym modelem rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, opracowanym przez Zakład Ochrony Atmosfery Politechniki Warszawskiej, powierzchnie badawcze do oceny i analiz środowiska leśnego, w zasięgu oddziaływania emisji przemysłowych. Strefy zagrożenia określono zależnie od odległości od emitorów, z biegiem lat i kompleksowością badań, często tak, jak to w przyrodzie nie podporządkowały się modelom matematycznym. Zarówno zmiany florystyczne zbiorowisk analizowanych, przyjętych pierwotnie jako bogata postać kontynentalnego boru sosnowego *Peucedano-Pinetum* (W.Mat. 1962) W.Mat.&J.Mat. 1973, aktualnie fragmentami przekształciła się w procesie zmian sukcesyjnych w uboższą florystycznie postać subatlantyckiego boru sosnowego – *Leucobryo-Pinetum* (W.Mat. 1962) W.Mat. &J.Mat. 1973., jak i chemizm gleb, wskazują na uwarunkowania biotyczne i antropogeniczne.

Wieloaspektowe badanie tła zarówno przez cykle pomiarowe zanieczyszczeń prowadzone od 16 lat dzięki współpracy przez pracowników Elektrowni, jak i oceny bioindykatorów, jakimi są epifityczne porosty oraz analizy chemizmu gleb, ze szczególnym uwzględnieniem metali ciężkich, pozwalają na właściwą interpretację zmian ekosystemów leśnych, pod wpływem emisji przemysłowych.

Chcąc skutecznie przeciwdziałać negatywnym skutkom antropopresji należy dostosować metody gospodarki, zgodnie z wynikami badań wieloletnich, na podstawie których możliwe jest jednoznaczne prognozowanie zmian.

Warto podkreślić, że w ramach szczegółowych, wieloletnich badań sporządzono



rejestr chrząszczy saproksylicznych, których obecność związana jest z martwym drewnem.

Wśród ogólnej liczby aż 320 gatunków chrząszczy saproksylicznych, które tu odnotowano, na szczególną uwagę zasługują jako gatunki rzadkie: skorogonek *Tachyporus solutus* Er., *Caccobius schreberi* L. i *Aulonothroscus brevicollis* Bonvouloire, *Ernobius longicornis* Sturm oraz *Anapsis bohémica* Schils, stwierdzony jako nowy dla Polski w niniejszych badaniach, oraz *Bruchus brachialis* Faech, gatunek do niedawna znany w Polsce tylko z jednego stanowiska na południu kraju. Ten ostatni oraz *Caccobius schreberi*, a także *Stenagostetus rufus* De Geer i *Ergates faber* L. to gatunki z tzw. Czerwonej Listy. Jednocześnie w zasięgu oddziaływania emisji Elektrowni stwierdzono też obecność następujących gatunków chrząszczy saproksylicznych, objętych ochroną: biegacz fioletowy *Cara-*

*bus violaceus* F., polny *C. arvensis* Herbst., skórzasty *C. coriaceus* L., gajowy *C. nemoralis* Mueller.

Z ostatniej chwili: w sierpniu br. na skraju powierzchni III, w 74-letnim drzewostanie sosnowym dokonano sensacyjnego odkrycia: na żdźbłach traw polował na śniadanko piękny okaz modliszki zwyczajnej *Mantis religiosa* L. w prostej linii ok. 1,2 km od emitorów Elektrowni „Kozienice”! □

#### Literatura:

- J. Schroeder, C. Reuss 1893. Beschundigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Huttenrauchschaden, Verlag PPaul Parey, Berlin.  
P. Stockhardt 1871. Sogenannte unsichtbare Beschundigung. Bot. Zntbl. 80: 50-56.  
A. Wieler 1807. Uber unsichtbare Rauchschaden bei Nadelbaume – Z. Forst. und Jagwes. 29: 513-519.

Dr Małgorzata Falencka-Jabońska – Zakład Ekologii Lasu i Łowiectwa. Instytut Badawczy Leśnictwa.