

Rocznik Świętokrzyski. Ser. B – Nauki Przyr. 33: 47–66, 2012

Polska Akademia Nauk – Oddział w Krakowie, Kieleckie Towarzystwo Naukowe,
Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach
Polskie Towarzystwo Geograficzne

Ocena zanieczyszczenia powietrza wzdłuż tras szybkiego ruchu z wykorzystaniem bioindykatorów

Assessment of air pollution along highways using bioindicators

MAŁGORZATA ANNA JÓŹWIAK, BARTOSZ JACHYMCZYK,
BEATA BĘTKOWSKA, KINGA CIEPLICKA

Summary. Contemporary analysis of pollution is based on bioindication methods. Living organisms, mainly lichens, are tests used in environmental methods. Biotest reactions consist on visible micro- and macroscopic morphological and anatomic changes. Visible reactions lead to disorders in reproduction and what follows spreading of population of tested species.

Drastic nature of environmental changes leads to withdrawing of species from areas previously occupied and the reason of withdrawing can be changes in the vegetative reproduction structures of examined biotests.

The aim of the research was to show changes in the amount and morphological structure of labial soralia of *Hypogymnia physodes* as a result of transport pollution accumulation (local road 73 and S7 motorway) and the role of acoustic screens in spreading pollutions emitted by motor vehicles. In the research, active bioindication method was used. Results obtained showed significant decrease in the amount of labial soralia. After six-month exposition there was 47% of soralia left in the transplants in front of the screen along 73 road, 62% behind the screen and 26% in the transplants in front of the screen along S7 motorway and 47% behind the screen in relation to test samples.

Accumulation of heavy metals examined in thallus of bioindicators is shown in order: Zn>Cr>Co>Pb>Cd behind the screen Zn>Cr>Pb>Co>Cd in front of the screen. Colour changes in areas of labial soralia are: blackening in which EDX analyzer showed the presence of Co, Pb and Cd, whitening with the presence of Pb and Cd and browning with the presence of Co, Zn,

Pb, and Cd. All the elements mentioned were found in samples of transplants exposed in front of and behind the screen.

Key words: emission line, bioindicators, acoustic screens, lichens.

Małgorzata Anna Józwiak, Bartosz Jachymczyk, Beata Bętkowska, Kinga Cieplicka, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, 25-406 Kielce, ul. Świętokrzyska 15, bud. G, malgorzata.jozwiak@vp.pl

WPROWADZENIE

Bioindykacja stanowi szereg działań zmierzających do określania zmian, jakie zaszły w środowisku przy użyciu organizmów żywych. W metodach bioindykacyjnych ważne są reakcje pojedynczych organizmów na bodziec środowiskowy, ponieważ są one najbardziej miarodajnym źródłem informacji o korzystnych i niekorzystnych zmianach zachodzących w biotopie. Jednocześnie metody bioindykacyjne pełnią rolę w określaniu tendencji zmian w środowisku przyrodniczym, pokazując reakcje bio wskaźników na dynamikę stanu higienicznego środowiska. Wynika to z faktu, że bioindykatory odbierają stres środowiskowy we właściwy sobie sposób i odpowiednio na niego reagują.

Jednym z największych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza są paliwa ropopochodne. Ilość i rodzaj zanieczyszczeń zależy od rodzaju i stanu spalnego paliwa, warunków spalania i wydajności urządzeń, a także od skuteczności przyrządów oczyszczających powstające spaliny (Rutkowski, 1993). Transport drogowy wpływa na wszystkie komponenty środowiska. Jego niekorzystne skutki są widoczne zarówno w ożywionych, jak i nieożywionych elementach ekosystemu (Gronowicz, 2004). W Polsce w 2008 roku na skutek ruchu samochodowego zostało wyemitowanych ok. 18,305 Mg ołowiu, ok. 5,758 Mg niklu, ok. 3,455 Mg miedzi oraz ok. 0,363 Mg kadmu (Dębski i in., 2008). Analizy mikrokalorymetryczne wykazały, że szereg powinowactwa metali do struktur sorpcyjnych porostów przedstawia się następująco: Pb > Zn > Cd ~ Cu ~ Cr (Pipińska i in., 2005).

Zastosowanie bioindykatorów jest jednym ze sposobów oceny wielkości emisji zanieczyszczeń w pobliżu szlaków komunikacyjnych (Rajfur i in., 2010; Józwiak, Jachymczyk, 2011). Metodę bioindykacji stosuje się powszechnie również w monitoringu zanieczyszczeń przemysłowych. Bioindykatorami są porosty, które kumulują metale ciężkie w swoich strukturach, pobierając je z atmosfery całą powierzchnią plechy (Belivermiš i in., 2008; Kłos i in., 2008; Józwiak, Józwiak, 2009). Badania dowiodły, że skuteczność bioindykacyjna porostów wynika z ich zdolności do zatrzymywania metali ciężkich w komórkach i przestworach międzykomórkowych (Szczepaniak, Biziuk, 2003).

Ektohydryliczność porostów wykazano na podstawie analiz zależności wchłaniania miedzi i niklu przez chloroplasty i mitochondria. Stwierdzono, że przy zwiększonych opadach atmosferycznych, wykazujących niskie pH powstałe w wyniku zanieczyszczenia siarczanami, wchłanianie wymienionych metali rośnie.

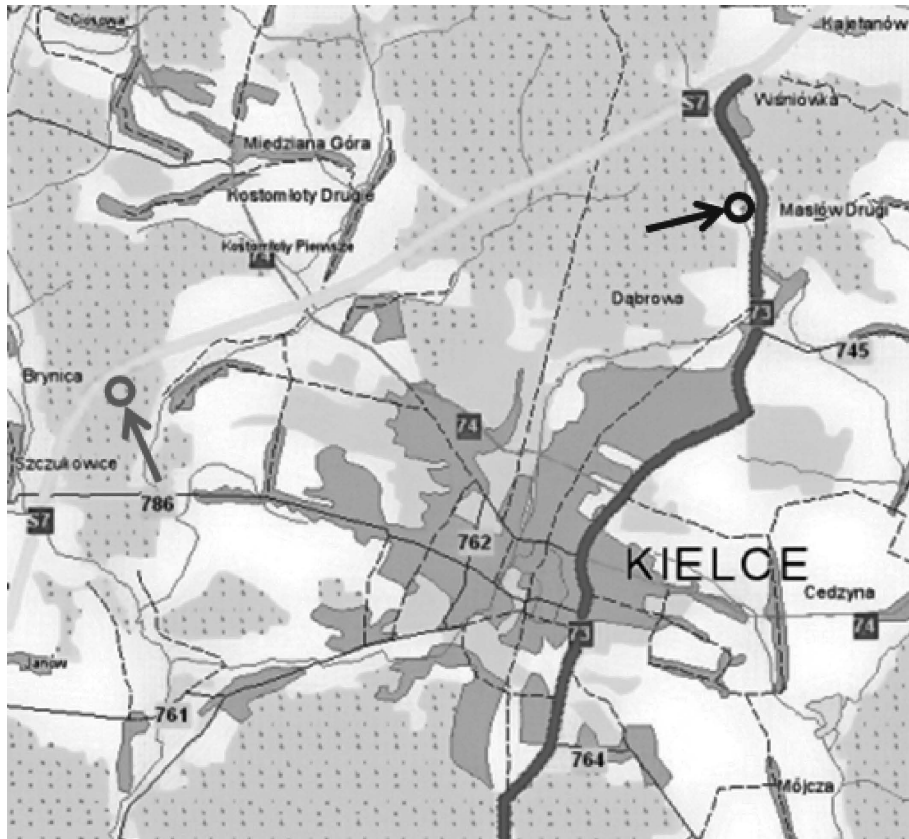
Uwzględniając wysoki stopień toksyczności wymienionych powyżej metali, można ocenić stopień zagrożenia organizmów pozostających pod ich wpływem. Istotnym elementem badań jest wskazanie miejsc depozycji toksyn środowiskowych w plechach bioindykatora. Z badań światowych, jak również własnych wynika, że więcej analitów kumuluje w przestrzeniach międzykomórkowych aniżeli wewnątrz komórek komponentów plech porostowych. Rozpoznano, że Mn, Cu i Zn kumuluje wokół komórek glonu (Clarck i in., 1999), Fe w warstwie korowej, natomiast Mn w sorediach (komórkach glonowych oplecionych grzybnią), a w szczególności chloroplastach glonowych sorediów (Hauck i in., 2002; Paul i in., 2003; Paul i in., 2004). Soralia wargowe plech (miejsca wytwarzania sorediów) są obszarami zwiększonej wrażliwości i szybszej reakcji na zanieczyszczenia niż pozostałe części plechy. Wynika to ze specyfiki ich budowy, która w miejscach ich występowania charakteryzuje się rozluźnioną strukturą grzybni sprzyjającą wnikaniu zanieczyszczeń.

Celem prowadzonych badań było wykazanie skuteczności dźwiękochłonnych ekranów umieszczanych wzdłuż tras szybkiego ruchu w zatrzymywaniu zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy samochodowe. Badania prowadzono, analizując zmiany morfologiczne porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. z uwzględnieniem organów rozmnażania wegetatywnego (soraliiów wargowych) oraz analizowano poziom kumulacji toksykantów w badanych plechach.

OBSZAR BADAŃ

Badania zrealizowano przy dwóch trasach: drodze ekspresowej S7 oraz drodze krajowej 73 (ryc. 1). Zastosowano metodę biomonitoringu aktywnego, transplantuując porost pustułkę pęcherzykową (*Hypogymnia physodes*).

Miejsca lokalizacji transplantów wzdłuż drogi krajowej 73 sąsiadują z ekosystemem leśnym boru sosnowego. Stanowiska badawcze znajdują się po wschodniej stronie szlaku komunikacyjnego. W miejscu prowadzonych badań nie występują dodatkowe źródła emisji związane z działalnością człowieka. Natężenie ruchu drogowego na odcinku drogi, przy którym eksponowano porosty, wynosi 561 poj./h (<http://siskom.waw.pl/>).



Ryc. 1. Miejsca ekspozycji bioindykatorów

Źródło: <http://maps.geoportal.gov.pl/>.

Fig. 1. Places of exposure of bioindicators

Source: <http://maps.geoportal.gov.pl/>.

Miejsca lokalizacji transplantów wzdłuż drogi ekspresowej S7 to obszar zalesiony. Występuje tu kompleks leśny żyznych lasów mieszanych, lasów mieszanych wyżynnych, wilgotnych i świeżych. Miejsce transplantowanych porostów sąsiaduje z siedzibami ludzkimi, obszarami upraw i nieużytkami.

OBIEKT BADAŃ

Badany biowskaźnik to porost *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. powszechnie występujący w Polsce, nieobjęty ochroną gatunkową i najczęściej wykorzystywany jako bioindykator stanu zanieczyszczenia powietrza (Sawicka-Kapusta

i in., 2010). Ma plechę o kształcie listkowatym, rozetkowatym lub nieregularnym. Jest koloru szarozielonego, wytwarza na obrzeżach plechy soralia. Są to wargowe wywinięcia, powstające na szczytach odcinków, na granicy warstwy kory, wypełnione solediami, zbudowanymi z kilku komórek glonu oplecionych strzępkami grzyba (Wójciak, 2007; Józwiak, 2007, 2009; Kłós, 2009). Są one organami rozmnażania wegetatywnego plech.

METODYKA BADAŃ

Metodyka pracy obejmowała badania terenowe i laboratoryjne.

Ocena zmian jakości powietrza została dokonana metodą biomonitoringu aktywnego, tj. metodą transplantacji porostów. Monitoring aktywny pozwala na wykazanie przyrostów stężeń badanych metali ciężkich w próbkach. Wyznaczanie przyrostu stężeń analitów obliczono, korzystając ze współczynnika akumulacji względnej (RAF – *Relative Accumulation Factors*), według wzoru:

$$RAF = \frac{C_{i(l)} - C_{i(o)}}{C_{i(o)}}$$

gdzie: $C_{i(o)}$ – stężenie analitu przed okresem ekspozycji,

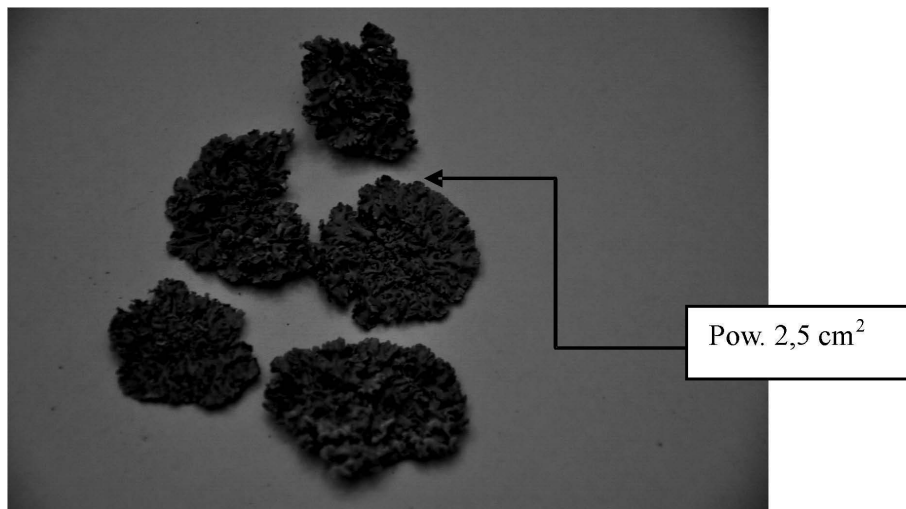
$C_{i(l)}$ – stężenie analitu po okresie ekspozycji (Culicov, Yurukowa, 2006).

Pozyskane plechy eksponowano na 30-centymetrowych gałązkach, po trzy na każdym stanowisku badawczym. Plechy biowskaźnika sprowadzono z Puszczy Boreckiej (północno-wschodnia Polska) z obszarów uznanych za wskaźnikowe czyste. Porosty wystawiano na działanie zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego od kwietnia do września 2011 roku, stosując półroczny cykl ekspozycji. Transplanty zawieszano na wysokości 1,5–2 metrów nad powierzchnią gruntu umieszczając po obu stronach ekranów akustycznych.

Analiza laboratoryjna polegała na ocenie zmian barwnych w soraliach wargowych pustułki pęcherzykowatej oraz szacowaniu ilości uszkodzonych soraliów w zestawieniu z próbką kontrolną. Na każdej gałązce badawczej wybierano losowo 10 fragmentów (zaznaczając wybrane fragmenty) plechy o średniej powierzchni 2,5 cm², liczone soralia przed ekspozycją a następnie po okresie 6-miesięcznej ekspozycji w mikroskopie Nikon SMZ 1500, wykorzystując program NIS-Elements Basic Research.

Badania na zawartość toksykantów w obszarach zbieleń, zbrązowień i zaczernień występujących w sąsiedztwie lub na soraliach wykonano mikroanalizatorem EDX (*Energy Dispersive X Ray Spectroscopy*). Służy on do oznaczania składu chemicznego pierwiastków w badanym mikroobszarze. Uzyskana analiza może być analizą punktową, liniową lub przyjmować postać mapy rozkładu

pierwiastków w analizowanym mikroobszarze. W prowadzonych badaniach zastosowano metodę analizy obszarowej.



Fot. 1. Losowo wybrane fragmenty plechy o średniej powierzchni $2,5 \text{ cm}^2$

Photo. 1. Randomly chosen fragments of thallus with average surface of $2,5 \text{ cm}^2$

W badaniach kumulacji metali ciężkich zastosowano metodę mineralizacji utleniającej mokrej ciśnieniowej z wykorzystaniem energii mikrofalowej. Wykorzystano mineralizator Multiwave 3000 firmy Anton Paar, z 16-miejscowym wirnikiem. Do oznaczenia Pb, Cd, Cr, Co, Mn, Zn zastosowano Spektrometr ICP-MS/TOF OptiMass 9500 firmy GBC.

WYNIKI

Wykazane ilości soraliów wyliczono z powierzchni 25 cm^2 (10 próbek po $2,5 \text{ cm}^2$) dla plech przeznaczonych do transplantacji przed i za ekranem akustycznym.

W wybranych plechach wytypowanych do transplantacji ilości stwierdzonych soraliów wargowych w próbkach kontrolnych były zbliżone i wynosiły: dla próbek trasy 73 – 289 i trasy S7 – 301 przed ekranem (tab. 1) oraz odpowiednio 282 i 299 za ekranem akustycznym (tab. 2).

Tabela. 1. Ilości soraliów w próbce kontrolnej w losowo wybranych fragmentach plechy. Próbka do transplantacji przed ekranem akustycznym

Table 1. The amount of soralia in test sample in randomly chosen fragments of thallus. Sample to be transplanted in front of acoustic screen

Trasa Road	Numer gałązki Numer of twig	Numer próbki z ilością soraliów w każdej próbce <i>Number of sample with the amount of soralia in each sample</i>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Droga 73 73 Road	I	6	6	9	6	7	12	11	9	14	6
	II	12	11	7	11	9	10	9	13	11	10
	III	9	7	14	11	15	6	8	9	9	12
Razem Altogether		27	24	30	28	31	28	28	31	34	28
Trasa S7 S7 Motorway	I	13	7	8	9	8	6	11	14	10	10
	II	11	8	9	12	11	13	11	10	7	9
	III	10	11	14	10	14	12	8	9	9	8
Razem Altogether		34	26	31	31	33	31	30	33	26	26

Tabela 2. Ilość soraliów w próbce kontrolnej w losowo wybranych fragmentach plechy. Próbka do transplantacji za ekranem akustycznym

Table 2. The amount of soralia in test sample in randomly chosen fragments of thallus. Sample to be transplanted behind of acoustic screen

Trasa Road	Numer gałązki Numer of twig	Numer próbki z ilością soraliów w każdej próbce <i>Number of sample with the amount of soralia in each sample</i>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Droga 73 73 Road	I	5	6	10	10	7	10	10	9	13	7
	II	12	10	8	10	8	11	8	12	7	10
	III	10	8	14	11	14	6	8	9	6	11
Razem Altogether		27	24	34	31	28	27	26	31	26	28
Trasa S7 S7 Motorway	I	12	6	9	7	9	6	11	13	7	10
	II	12	11	8	11	10	15	11	13	8	9
	III	11	9	13	10	14	10	8	9	9	8
Razem Altogether		35	26	30	28	33	31	30	35	24	27

W plechach transplantowanych przed ekranem akustycznym po okresie 6-miesięcznej ekspozycji ilości soraliów wargowych przedstawiały się następująco: dla próbek na trasie 73 – 137, co stanowi 47% w stosunku do próbki

kontrolnej, a S7 – 78, co stanowi 26% w stosunku do próbki kontrolnej (tab. 3) oraz za ekranem odpowiednio trasa 73 – 174 (62% w stosunku do próbki kontrolnej) i S7 – 128 (43% w stosunku do próbki kontrolnej) – tabela 4.

Tabela 3. Ilości soraliów w próbce badawczej po 6-miesięcznym okresie ekspozycji przed ekranem akustycznym

Table 3. The amount of soralia after six-month exposition in front of the screen

Trasa Road	Numer gałązki Numer of twig	Numer próbki z ilością soraliów w każdej próbce <i>Number of sample with the amount of soralia in each sample</i>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Droga 73 73 Road	I	4	4	2	1	7	8	1	4	4	4
	II	6	7	2	2	9	8	5	3	1	7
	III	3	1	7	7	5	3	3	4	6	10
Razem Altogether		13	11	11	10	21	19	9	11	11	21
Trasa S7 S7 Motorway	I	0	2	2	3	2	0	1	4	1	6
	II	2	4	0	5	1	3	7	0	2	0
	III	3	4	4	5	6	2	2	2	3	2
Razem Altogether		5	10	6	13	9	5	10	6	6	8

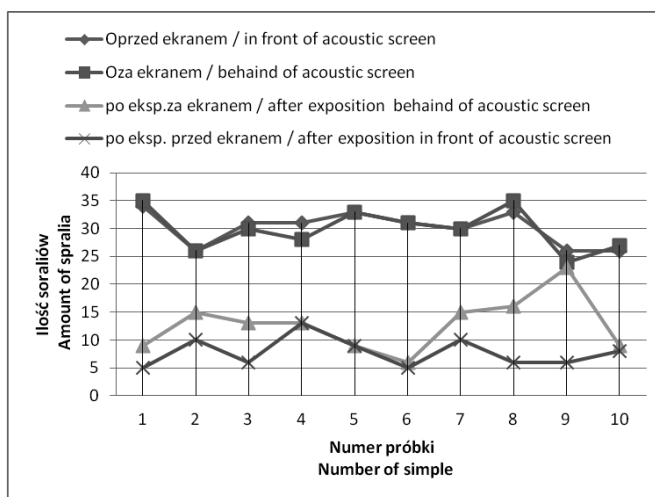
Tabela 4. Ilości soraliów w próbce badawczej po 6-miesięcznym okresie ekspozycji za ekranem akustycznym

Table 4. The amount of soralia after six-month exposition behind of the screen

Trasa Road	Numer gałązki Numer of twig	Numer próbki z ilością soraliów w każdej próbce <i>Number of sample with the amount of soralia in each sample</i>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Droga 73 73 Road	I	5	4	9	7	7	8	5	4	5	4
	II	5	7	6	4	8	7	6	3	5	7
	III	1	8	7	7	6	3	4	4	9	9
Razem Altogether		11	19	22	18	21	18	15	11	19	20
Trasa S7 S7 Motorway	I	3	6	4	3	2	1	6	4	7	6
	II	3	4	2	5	1	3	7	6	9	1
	III	3	5	7	5	6	2	2	6	7	2
Razem Altogether		9	15	13	13	9	6	15	16	23	9

Analiza ilości soraliów w próbkach badawczych wskazuje na skalę uszkodzeń. Największe ubytki w ilości organów rozmnażania wegetatywnego odnotowano w plechach transplantowanych przed ekranem akustycznym wzdłuż trasy S7 w pierwszej próbce badawczej – 85%. W tym samym miejscu ekspozycji najmniejsze ubytki w soraliach stwierdzono w drugiej próbce stanowiące 62% w stosunku do próbki kontrolnej.

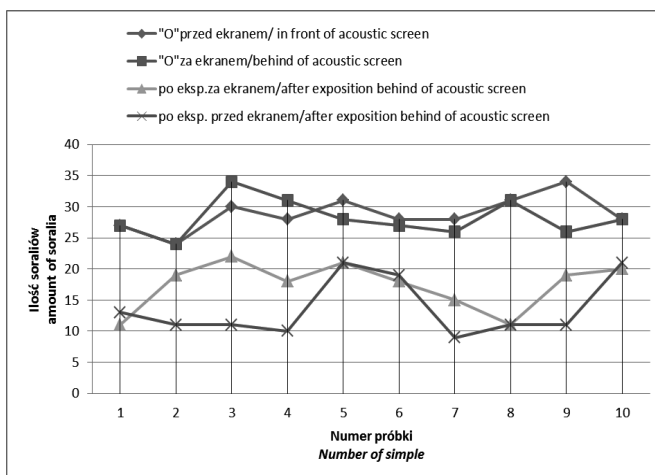
Największe ubytki w ilości organów rozmnażania wegetatywnego za ekranem akustycznym, odnotowane w plechach transplantowanych wzdłuż trasy S7, przedstawiają się na poziomie 74% – w pierwszej z dziesięciu próbek badawczych, i 4% w próbce dziewiątej (ryc. 2).



Ryc. 2. Dynamika liczebności soraliów wargowych w zależności od miejsca ekspozycji wzdłuż trasy S7

Fig. 2. Dynamic nature of number of labial sorallia depending on place of exposition along S7 road

Największe ubytki w ilości organów rozmnażania wegetatywnego odnotowane w plechach transplantowanych przed ekranem akustycznym wzdłuż trasy 73 wynoszą 68% strat (dziewiąta próbka), najmniejsze 25% strat (dziesiąta próbka). Analiza procentowa ubytków soraliów dla trasy 73 plech transplantowanych za ekranem przedstawia rycina 3. Największe ubytki stwierdzono w próbce 8. (65%), najmniejsze w próbce 2. (21%).



Ryc. 3. Dynamika liczebności soraliów wargowych w zależności od miejsca ekspozycji wzdłuż drogi 73
 Fig. 3. Dynamic nature of number of labial sorallia depending on place of exposition along 73 road

Udokumentowane fotograficznie próbki kontrolne pokazują końcowe odcinki plechy z prawidłowo wykształconymi, wywiniętymi soraliami i występującymi w nich mączystymi solediami (fot. 2). Każde sorallium wyniesione jest na trzonku (fot. 3), co ułatwia wysypywanie solediów i szybkie rozprzestrzenianie się taksonu.



Fot. 2. Mączyste soraliów – próbka kontrolna . Fot. B. Jachymczyk
 Photo 2. Floury sorallia – sample tests. Photo by B. Jachymczyk



Trzonki soraliów Sorallia conidiophore

Fot. 3. Trzonki soraliów – próbki kontrolne. Fot. B. Jachymczyk

Photo 3. Sorallia conidiophore – sample tests. Photo by B. Jachymczyk

W analizowanych preparatach mikroskopowych obserwowano zmiany barwne. Występowały na całej powierzchni próbek ze szczególnym nasileniem obszarów końcowych plech, miejsc powstawania organów wegetatywnego rozmnażania porostów. Zmiany barwne lokalizowały się u podstawy wargowo wywiniętych soraliów (fot. 4, 5) oraz wewnątrz soraliów (fot. 6).

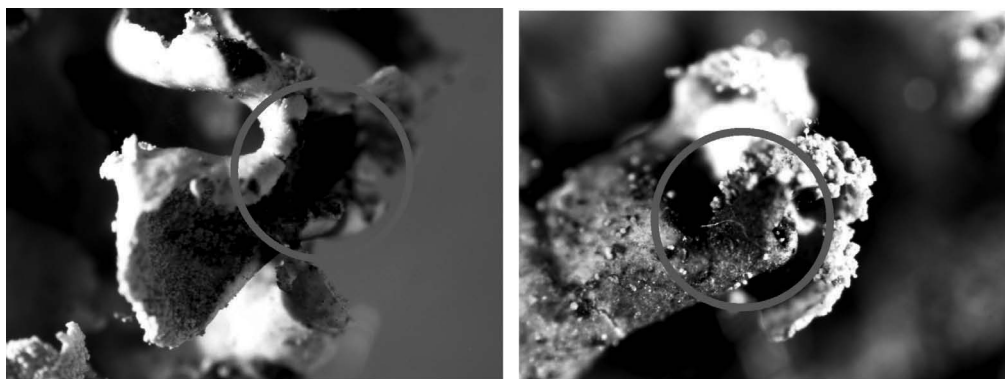


Fot. 4. Zmiany barwne soraliów wargowych w postaci zbrązowień. Fot. B. Jachymczyk

Photo 4. Colour changes in labial soralia in the form of browning. Photo by B. Jachymczyk

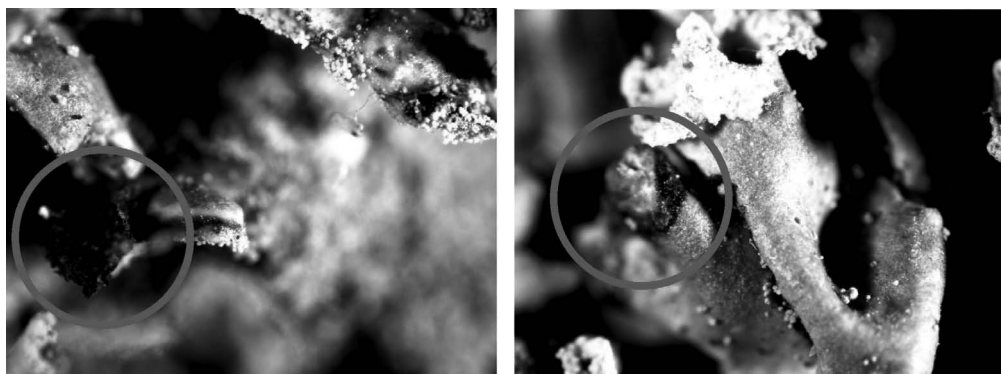


Fot. 5. Zmiany barwne soraliów wargowych w postaci wybielenia. Fot. B. Jachymczyk
Photo 5. Colour changes in labial soralia in the form of whitening. Photo by B. Jachymczyk



Fot. 6. Zaczernienia powstałe w soraliach *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Fot. B. Jachymczyk
Photo 6. Blackening of soralia of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Photo by B. Jachymczyk

Obszary przebarwień charakteryzowały się również licznymi wykruszeniami końcowych części rozet (fot. 7).



Fot. 7. Wykruszenia soraliów spowodowane licznymi nekrozami u ich podstawy. Fot. B. Jachymczyk
Photo 7. Soralia chipping caused by a number necrosis at their base. Photo by B. Jachymczyk

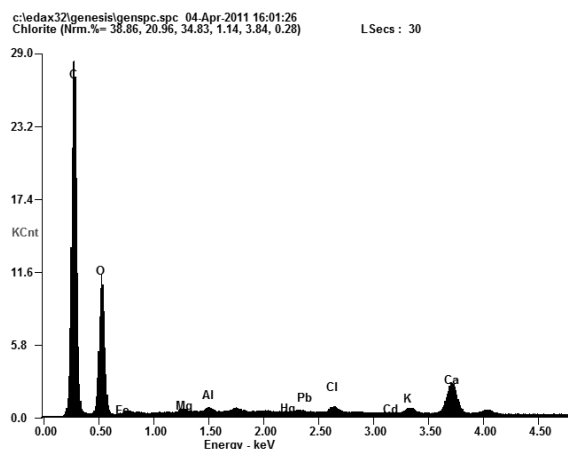
Ocena zawartości analitów (Pb, Cd, Cr, Co, Mn, Zn) w plechach porostowych wykonana mikroanalizatorem EDX wyrażona % At i % Wt w obszarach zmian barwnych (wybielenień, zbrązowień i szernień plech) udokumentowała występowanie w tych obszarach Pb i Cd z miejsc wybielenień; Co, Zn, Pb i Cd z miejsc zbrązowień i Co, Pb, Cd z miejsc szernień plech. Wszystkie wymienione metale diagnozowano w plechach transplantowanych przed ekranami akustycznymi (tab. 5A, B; ryc. 4; tab. 6A, B; ryc. 5; tab. 7A, B; ryc. 6).

Tabela 5. Zawartość analitów w obszarach wybielenień plechy w soraliach wargowych transplantowanych przed ekranem akustycznym (A) i za ekranem akustycznym (B) wyrażona w procencie wagowym i atomowym

Table 5. The amount of elements in the areas of whitening of thallus in labial soralia transplanted in front of acoustic screen (A) and behind acoustic screen (B) shown in weight and atomic percentage

A	Element	% Wt	% At
	C	61,19	69,78
	O	33,25	28,47
	Fe	01,92	00,47
	Mg	00,25	00,14
	Al	00,22	00,11
	Hg	00,02	00,00
	Pb	00,21	00,01
	Cl	00,30	00,12
	Cd	00,03	00,00
	K	00,34	00,12
	Ca	02,27	00,77

B	Element	% Wt	% At
	C	60,15	66,86
	N	03,22	03,07
	O	35,35	29,50
	Mg	00,12	00,06
	Al	00,70	00,35
	Cl	00,20	00,07
	K	00,14	00,05
	Fe	00,12	00,03

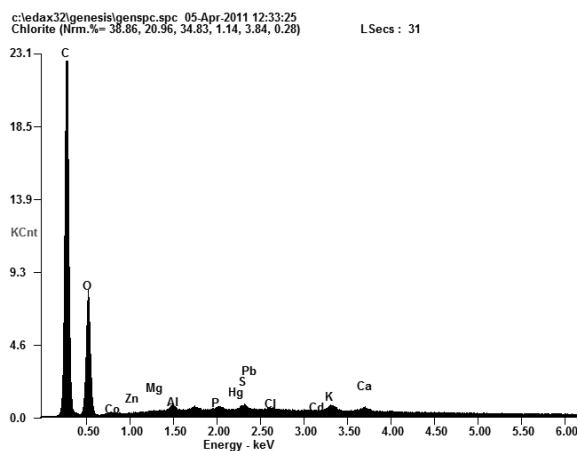


Ryc. 4. Analiza chemiczna mikroanalizatorem EDX (*Energy Dispersive X Ray Spectroscopy*) w obszarze soralia w miejscu wybielenia plechy transplantowanej przed ekranem akustycznym
 Fig. 4. Chemical analysis with the use of microanalyses EDX in the area of soralia in the place of thallus whitening of lichen transplanted in front of the screen

Tabela 6. Zawartość analityków w obszarach zbrązowień plechy w soraliach wargowych transplantowanych przed ekranem akustycznym (A) i za ekranem akustycznym (B) wyrażona w procencie wagowym i atomowym

Table 6. The amount of elements in the areas of browning of thallus in labial soralia transplanted in front of acoustic screen (A) and behind acoustic screen (B) shown in weight and atomic percentage

A	Element	% Wt	% At	B	Element	% Wt	% At
	C	65,66	73,01		C	71,53	78,99
	O	31,27	26,10		O	23,28	19,30
	Co	01,43	00,32		Fe	03,06	00,73
	Zn	00,07	00,01		Mg	00,31	00,17
	Mg	00,07	00,04		Al	01,11	00,54
	Al	00,26	00,13		Cl	00,72	00,27
	P	00,14	00,06				
	Hg	00,05	00,00				
	S	00,20	00,08				
	Pb	00,13	00,01				
	Cl	00,12	00,05				
	Cd	00,05	00,01				
	K	00,31	00,11				
	Ca	00,23	00,08				



Ryc. 5. Analiza chemiczna mikroanalizatorem EDX (*Energy Dispersive X Ray Spectroscopy*) w obszarze soraliów w miejscu zbrązowienia plechy transplantowanej przed ekranem akustycznym

Fig. 5. Chemical analysis with the use of microanalyses EDX in the area of soralia in the place of thallus browning of lichen transplanted in front of the screen

Tabela 7. Zawartość analitów w obszarach zaczerńień (nekroz) plechy w soraliach wargowych transplantowanych przed ekranem akustycznym (A) i za ekranem akustycznym (B) wyrażona w procencie wagowym i atomowym

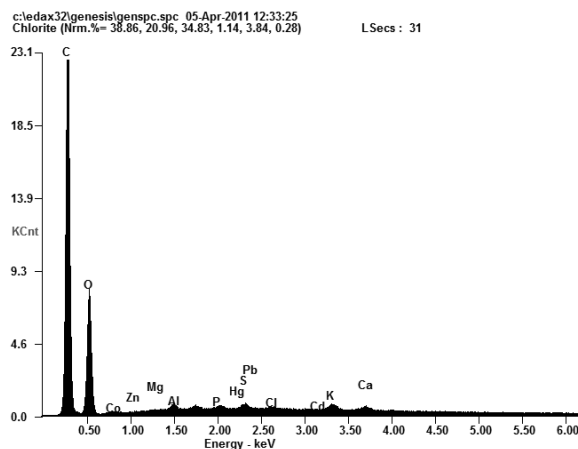
Table 7. The amount of elements in the areas of blackening (necrosis) of thallus in labial soralia transplanted in front of acoustic screen (A) and behind acoustic screen (B) shown in weight and atomic percentage

A

Element	% Wt	% At
C	62,07	69,87
O	34,43	29,10
Co	01,42	00,33
Al	00,30	00,15
P	00,12	00,05
Mo	00,10	00,01
S	00,13	00,05
Pb	00,14	00,01
Cl	00,33	00,13
Cd	00,13	00,02
K	00,46	00,16
Ca	00,37	00,12

B

Element	% Wt	% At
C	63,04	69,86
O	35,50	29,53
Al	00,59	00,29
P	00,18	00,08
S	00,14	00,06
K	00,39	00,13
Ca	00,16	00,05



Ryc. 6. Analiza chemiczna mikroanalizatorem EDX (Energy Dispersive X Ray Spectroscopy) w obszarze soraliu w miejscu zaczerwienia plechy transplantowanej przed ekranem akustycznym
 Fig. 6. Chemical analysis with the use of microanalyses EDX in the area of soralia in the place of thallus blackening of lichen transplanted in front of the screen

Analiza chemiczna transplantowanych plech z zastosowaniem Spektrometru ICP-MS/TOF OptiMass 9500 potwierdziła występowanie wymienionych analityków w układzie Mn>Zn>Cr>Co>Pb>Cd za ekranem akustycznym i Zn>Mn>Cr>Pb>Co>Cd przed ekranem (tab. 8).

Tabela 8. Kumulacja wybranych metali ciężkich w plechach porostu *Hypogymnia physodes* wyrażona w $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m. transplantowanych przed i za ekranem akustycznym przy trasie szybkiego ruchu S7
 Table 8. Accumulation of a certain heavy metals in thallus of *Hypogymnia physodes* shown in $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m. transplanted in front of and behind the screen along S7 motorway

Miejsce ekspozycji <i>Place of exposition</i>		Analit <i>Element</i>				
		Pb	Cd	Cr	Co	Zn
		$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m.				
Próbka „0” kontrolna <i>Test sample</i>		2,8	0,1	2,84	0,08	69,69
Przed ekranem <i>In front of screen</i>	Kumulacja analitu <i>Element accumulation</i>	6,97	0,55	17,07	0,67	869,22
	Współczynnik RAF <i>RAF factor</i>	4,17	0,45	14,23	0,59	799,53
Za ekranem <i>Behind of screen</i>	Kumulacja analitu <i>Element accumulation</i>	3,11	0,30	4,58	0,42	293,80
	Współczynnik RAF <i>RAF factor</i>	0,31	0,2	0,74	0,34	224,11

PODSUMOWANIE

Bioindykacja stanowi szereg działań zmierzających do określania zmian, jakie zaszły w środowisku przy użyciu organizmów żywych. W metodach tych ważne są reakcje pojedynczych organizmów na bodziec środowiskowy. Dlatego organizmy i ich reakcje są najbardziej miarodajnym źródłem informacji o zmianach korzystnych i niekorzystnych zachodzących w biotopie.

Przeprowadzone badania wzdłuż dwóch trasach: drogi ekspresowej S7 oraz drogi krajowej 73 pozwoliły na ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi oraz wskazanie na rolę ekranów nie jako osłony akustycznej, ale bariery zapobiegającej rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń komunikacyjnych. Obliczony współczynnik RAF (*Relative Accumulation Factors*) wskazuje, że w okresie 6 miesięcy 2011 roku (miesiące IV–IX) w plechach transplantowanych porostów skumulowało się $1044,67 \mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ s.m. metali ciężkich, w tym 97,99% stanowił Zn. Drugim w kolejności był Cr – 1,43%. Analiza wielkości kumulacji przed i za ekranem akustycznym jednoznacznie wykazała, że najwyższa kumulacja metali następuje przed ekranem $818,97 \mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ s.m. (78,40%) wszystkich metali, z dominacją Zn 97,63%. Kumulacja badanych metali ciężkich w plechach biowskaźnika przedstawia się w układzie Zn>Cr>Co>Pb>Cd za ekranem akustycznym i Zn>Cr>Pb>Co>Cd przed ekranem.

W budowie morfologicznej plech eksponowanych na zanieczyszczenia komunikacyjne porostów *Hypogymnia physodes* stwierdzono liczne zmiany. Były to wybarwienia, wśród których dominowały szernienia, zbrązowienia i wybielenia plech, wykruszenia i wyłamania soraliów wargowych, spowodowane głównie nekrotycznymi zmianami powstającymi u ich podstawy. Większość zmian obserwowano w plechach eksponowanych przed ekranem, a więc w miejscach o silnej presji. Tam też stwierdzono liczne przypadki wyłamania obszarów brzegowych plech, co niewątpliwie wiąże się z trudnymi warunkami edaficznymi (duże zanieczyszczenie powietrza spalinami, mniejsza wilgotność względna powietrza, silne podmuchy powietrza generowane przez przejeżdżającą samochody).

Uszkodzenia tworzące się w soraliach pęcherzykowatej, zmniejszają możliwość rozmnażania wegetatywnego porostu, a tym samym uniemożliwiają rozprzestrzenianie się taksonu. W transplantach przy trasie 73 po półrocznym okresie ekspozycji przed ekranem akustycznym pozostało 47% soraliów w stosunku do próbki kontrolnej i 62% za ekranem akustycznym. W transplantach eksponowanych przy trasie S7 przed ekranem akustycznym pozostało jedynie 26%, natomiast za ekranem 43% w stosunku do próbek kontrolnych.

Zmiany barwne w obszarach soraliów wargowych to głównie szernienia, w których analizator EDX wskazywał na obecność Co, Pb i Cd. Przy wybiele- niach stwierdzono obecność Pb i Cd, natomiast przy zbrązowieniach Co, Zn, Pb i Cd.

Podziękowanie

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki, NN 305 298040

Acknowledgement

The project was funded by National Science Centre, NN 305 298040.

Literatura

- Belivermiş M., Kılıç Ö., Çotuk Y., 2008: Heavy Metal and Radioactivity Concentrations in Soil and Moss Samples from Istanbul, Turkey, *IUFS Journal of Biology*, 67 (1): 39–47.
- Clarck B.M., Mangelson N.F., St.Clair L.L., Gardner J.S., Cooper L.S., Rees L.B., Grant P.G., Bench B.S., 1999: Analysis of lichen thin sections by PIXE and STIM using a proton microprobe, *Nucl. Ins. Meth. Phys. Res.*, B150: 148–253.
- Culicov O.A., Yurukova L., 2006: Comparison of element accumulation of different moss- and lichen-bags exposed in the city of Sofia (Bulgaria), *J. Atmos. Chem.*, 55: 1–12.
- Dębski B., Olendrzyński K., Cieślińska J., Kargulewicz I., Skośkiewicz J., Olecka A., Kania K., 2008: Inwentaryzacja emisji do powietrza SO₂, NO_x, CO, NH₃, pyłów, metali ciężkich, NMLZO i TZO w Polsce za rok 2008, Instytut Ochrony Środowiska, Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Warszawa, ss. 80.
- Gronowicz J., 2004: Ochrona środowiska w transporcie lądowym, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Poznań – Radom, ss. 371.
- Hauck M., Paul A., Mulack C., Fritz E., Runge M., 2002: Effects of manganese on the viability of vegetative diaspores of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes*, *Environ. Exp. Bot.*, 47: 127–142.
- <http://siskom.waw.pl/> (data pozyskania: 10.08.2012).
- Jóźwiak M.A., 2007: Kumulacja metali ciężkich i zmiany morfologiczne w plechach porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 8: 51–56.

- Józwiak M.A., 2009: Możliwości wykorzystania epifitów do oceny zanieczyszczenia powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich, *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 10: 57–64.
- Józwiak M.A., Józwiak M., 2009: Influence of cement industry on accumulation of heavy metals in bioindicators, *Ecological Chemistry and Engineering S*, Vol. 16, No 3: 323–334.
- Józwiak M.A., Jachymczyk B., 2011: Rola naturalnych zapór w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń komunikacyjnych pochodzących z emisji liniowej, *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 12: 51–58.
- Kłos A., Rajfur M., Waclawek M., Waclawek W., 2008: Akumulacja mikro- i makropierwiastków w mchach i w porostach, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 15 (3): 397–423.
- Kłos A., 2009: Porosty w biomonitoringu środowiska, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole, ss. 187.
- Paul A., Hauck M., Fritz E., 2003: Effects of manganese on element distribution and structure in thalli of the epiphytic lichens *Hypogymnia physodes* and *Lecanora conizaeoides*, *Environ. Exp. Bot.*, 50: 113–124.
- Paul A., Hauck M., Langenfeld-Heyser R., 2004: Ultrastructural changes in soredia of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* cultivated with manganese, *Environ. Exp. Bot.*, 52: 139–147.
- Pipińska M., Koëiová M., Hornik M., Augustin J., Lesný J., 2005: Radiostrontium uptake by lichen *Hypogymnia physodes*, *Nukleonika*, 50(1): 39–44.
- Rajfur M., Kłos A., Gawlik D., Hyšplerova L., Waclawek M., 2010: Akumulacja metali ciężkich w mchach *Pleurozium schreberi* eksponowanych w pobliżu toru wyścigów samochodowych w Kamieniu Śląskim, *Proceedings of ECOpole*, 4 (2): 477–482.
- Rutkowski D.J., 1993: Źródła zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, ss. 162.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłóń 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*, 11: 63–71.
- Szczepaniak K., Biziuk M., 2003: Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution, *Environmental Research*, 93 (3): 221–230.
- Wójciak H., 2007: Porosty, mszaki, paprotniki, Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa, ss. 368

