

## Zmiany mikroskopowe w plechach porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. w zależności od odległości od źródła emisji punktowej

---

Microscopic changes in thalluses of lichen  
*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. depending on the distance  
from the source of spot emission

MAŁGORZATA ANNA JÓŹWIAK, BEATA BĘTKOWSKA

**Summary.** Industrial development leads to the increased emission of environmental toxins. Organisms known as bioindicators react to them. The drastic reaction in the organisms of bioindicators is so much visible that it is necessary to take effective steps to prevent and/or minimize the influence of environmental toxins on biotic part of the ecosystem. Their bioindicative effectiveness is the result of specific structure, the way moistness is absorbed, accumulation of pollutions inside thallus and universality of their presence and easiness of sample acquiring. Bioindicator *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. was used in research. Transplantation method that is transplanting lichens from clear area (Borecka Forest ) to areas polluted with anthropogenic factors used allowed to estimate the distance of toxin influence analyzing the number and the kinds of damages of lichen thallus depending on the distance from the source of spot emission. Stereoscopic microscope Nikon SMZ 1500 was used in the research with NIS-Elements BR programme and light microscope Nikon A2100. Biological analysis of the chosen samples showed changes in the condition of transplanted lichen thallus. Negative changes in their condition are colouring, crumbling and deformations of rosettes of thallus. The aim of the research was the analysis of microscopic changes in thallus of the transplanted lichen in diversified distance from the source of spot emission and analysis of severity of microscopic changes in lichen thallus depending on the distance from the source of spot emission. Park area is filled with an adequate number of individuals to the habitat possibilities.

**Key words:** air pollution, biomonitoring, emission, lichens, transplantation.

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

## WPROWADZENIE

Intensywny i ciągły rozwój przemysłu powoduje wzrost emisji zanieczyszczeń do atmosfery (Józwiak, Jachymczyk, 2011). Wzrastający poziom i wciąż nowa jakość antropogennych zanieczyszczeń wpływa negatywnie na środowisko przyrodnicze (Kłos, 2009). Konieczne jest podejmowanie działań zapobiegawczych, minimalizujących skutki wpływu zanieczyszczeń na organizmy żywe (Conti i in., 2004; Józwiak, 2007).

Organizmy wykazujące związki przyczynowo-skutkowe między stanem środowiska a ich kondycją zdrowotną wykorzystuje się jako biologiczne wskaźniki (biowskaźniki, bioindykatory) zanieczyszczenia. Najpopularniejszymi bioindykatorami zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego są porosty (Sawicka-Kapusta i in., 2010; Zimny, 2006, Józwiak, 2012). Powszechność występowania, słabe zabezpieczenie organizmu przed wpływem warunków zewnętrznych oraz duża zdolność pochłaniania wilgoci z atmosfery nadają im cechy dobrych biowskaźników (Józwiak, 2009; Kłos, 2009; Kolanko i in., 2008). Ważnym argumentem ich wykorzystania jest łatwość pozyskiwania plech, łatwość transportu i przechowywania próbek (Józwiak i in., 2010; Kłos, 2009). Porosty są zarówno akumulatorami, jak i indykatorami zanieczyszczeń powietrza, ponieważ mogą gromadzić zanieczyszczenia w swoich tkankach, jak i wskazywać na ich obecność w powietrzu atmosferycznym poprzez uszkodzenia plechy (Sawicka-Kapusta i in., 2010). Ze względu na brak tkanki okrywającej cechują się bezpośrednią infiltracją gazów i pyłów do wnętrza plechy (Bell, Treshow, 2004; Fałtynowicz, 1995). W celu oceny przydatności porostów w bioindykacji eksponowano je w strefach przemysłowych, obszarach zurbanizowanych, wzdłuż tras komunikacyjnych, na terenach parków narodowych i na obszarach rolniczych. Prowadzone badania wykazały, że najbardziej szkodliwy wpływ na plechy porostowe mają emisje pochodzące z obszarów rozwiniętego przemysłu chemicznego.

Pustułka pęcherzykowata (*Hypogymnia physodes*) jest powszechnie wykorzystywana do badań jako bioindykator zarówno w Polsce (Fałtynowicz, 1995; Józwiak, 2007, 2012; Sawicka-Kapusta i in., 2005, 2007; Białońska, Dajan, 2005), jak i na świecie: Niemcy (Jensen i in., 1999), Włochy (Conti, Cecchetti, 2001; Conti i in., 2004), Chile (Cortês, 2003).

W badaniach w 2002 roku, prowadzonych w obszarze przemysłowym Krakowa na terenie Nowej Huty, wykorzystywano pustułkę pęcherzykowatą (*Hypogymnia physodes*). Badania wykazały duże stężenie Cd, Pb, Zn w plechach porostów przeniesionych w pobliże huty. Duże stężenia Cr i Ni oraz zamieranie plech pustułki pęcherzykowatej odnotowano w sąsiedztwie zakładów chemicznych, w bezpośrednim otoczeniu Zakładów Azotowych w Puławach (Puszkarski, 1997). W Turcji prowadzono badania zdolności akumulacji zanieczyszczeń dwóch gatunków porostów *Hypogymnia physodes* i *Usnea hirta*, które wystawiono na działanie zanieczyszczeń emitowanych z fabryki w Karabük (Casaran-Duman, 2011). Badania prowadzone w Szwajcarii z wykorzystaniem *Xantoria pavietina* wykazały zmniejszanie się plech porostu wraz ze zbliżaniem się do centrum miasta (Zimny, 2006). W Słowacji przeprowadzono badania pod względem różnorodności bioty porostów w zależności od odległości od miasta Koszyce i huty stali, określając w ten sposób stopień zanieczyszczenia środowiska w badanym obszarze (Bačkor i in., 2003). Prowadzona z powodzeniem kontrola jakości środowiska w wymienionych obszarach wskazuje na zasadność wykorzystania biowskaźników, ale przede wszystkim na konieczność interpretacji typów zmian w zależności od drastyczności oddziaływania i stopnia koncentracji toksyn środowiskowych.

Celem przeprowadzonych badań było wyróżnienie typów zmian makroskopowych w plechach porostów eksponowanych w różnych odległościach od źródła emisji punktowej oraz analiza drastyczności tych zmian.

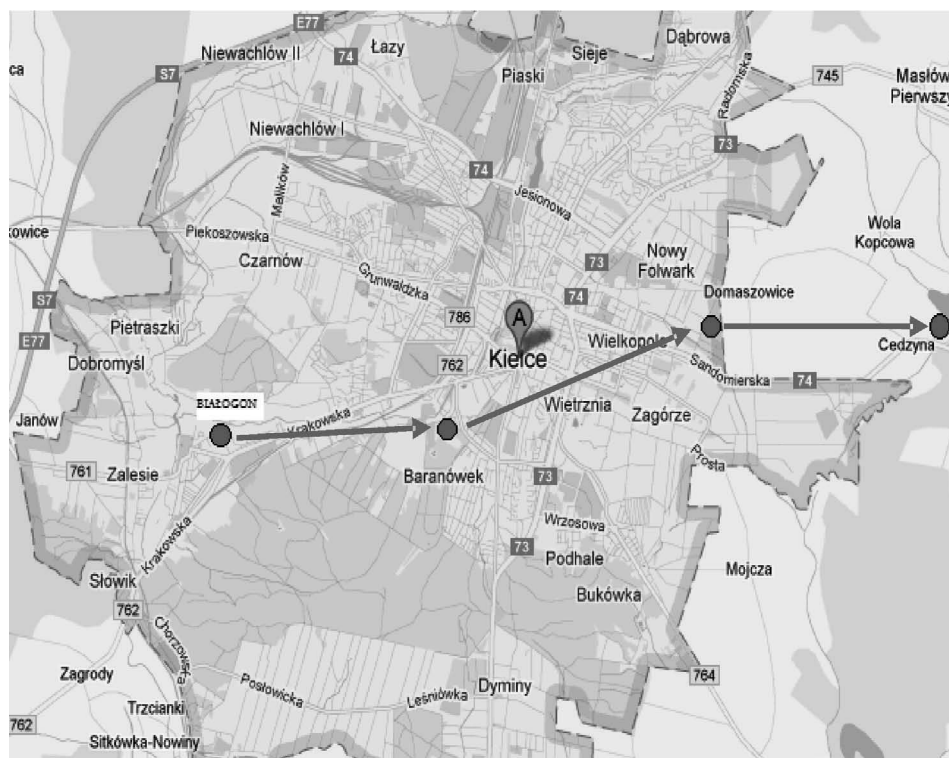
#### CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Obiektem badań jest porost pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., należąca do rodziny tarczownicowatych *Parmeliaceae*, którą eksponowano w wyznaczonych punktach badawczych. Posiada plechę listkowatą, rozetkowatą lub nieregularną, głęboko wcinaną. Przyjmuje zabarwienie szare do szarzielonego. Jest epifitem, rośnie na korze drzew szpilkowych, liściastych, drewnie. Soralia wargowe (paszczowate) tworzą się na granicy warstwy korowej górnej i dolnej. Soredia są koloru białego lub białzielonego (Wójciak, 2007). Dolna strona plechy w środkowej części jest czarna, na obwodzie brunatniejąca (Fałtynowicz, 1995). Plecha przyczepia się do podłoża zmarszczkami kory dolnej (Józwiak, 2009). Szeroko rozpostarta na podłożu posiada dużą powierzchnię chłonną. Liczne pęknięcia tworzące pseudocyfele oraz soralia wargowe są miejscem wnikania zanieczyszczeń w głąb plechy. Porost jest ektohydryczny (Józwiak, 2010).

## METODYKA

## BADANIA TERENOWE

Badania zostały przeprowadzone w okresie od kwietnia 2010 do października 2011 roku. Posłużono się metodą transplantacji. Plechy pozyskiwano z Puszczy Boreckiej (północno-wschodnia Polska) na 30-centymetrowych gałązkach, traktując ten obszar jako wskaźnikowo czysty. Przed ekspozycją porostów każdorazowo pobierano próbkę kontrolną.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów ekspozycji porostów

Źródło: <http://maps.google.pl/>.

Fig. 1. Location of points of the lichen exhibition

Source: <http://maps.google.pl/>.

Badanym źródłem emisji punktowej była Kielecka Fabryka Pomp Białogon SA. Miejsca ekspozycji porostów rozlokowane były wzdłuż transektu

Białogon–Cedzyna w 4 punktach (bezpośrednio przy zakładzie, 5 km, 10 km, 15 km) – rycina 1.

Pierwszy punkt ekspozycji transplantowanej plechy graniczy z budynkiem siedziby i zakładem pracy Kieleckiej Fabryki Pomp w Białogonie. Jest to teren zabudowany, w obrębie którego znajdują się ulice o dużym natężeniu ruchu kołowego. Drugi punkt badawczy (oddalony o 5 km) charakteryzuje obecność wokół stanowiska transplantacyjnego drzewostanu iglasto-liściastego. W pobliżu znajdują się osiedla mieszkaniowe z zabudową jednorodzinną i stadion sportowy. Punkt trzeci (oddalony o 10 km) usytuowano na obszarze niezabudowanym i porośniętym niską roślinnością trawiastą. Punkt oddalony o 15 km od emitora zanieczyszczeń położony jest na wschód od centrum Kielc. W najbliższym zasięgu znajduje się sztuczny zbiornik wodny (teren rekreacji i wypoczynku) i droga asfaltowa (od południa). W bezpośrednim otoczeniu znajduje się drzewostan iglasto-liściasty.

Porosty wystawiono na działanie zanieczyszczeń sześciokrotnie, w cyklach trzymiesięcznej ekspozycji. Ekspozycja plech porostowych polegała na zawieszeniu gałązek z pustułką pęcherzykowatą na pniach drzew na wysokości 1,5–2 m n.p.g. Podczas badań terenowych wykonywano dokumentację fotograficzną.

Przez cały okres badań prowadzono pomiary kierunków wiatru.

#### BADANIA LABORATORYJNE

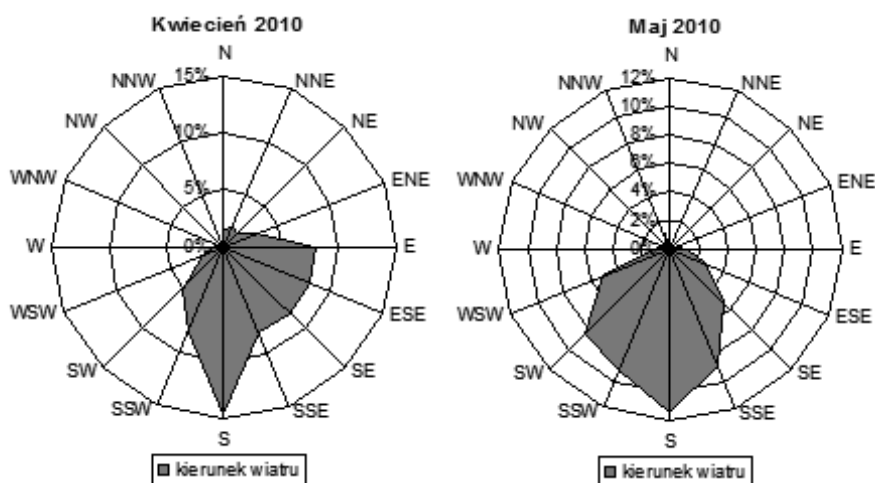
Z materiału badawczego każdej próby wybierano losowo po 10 fragmentów plechy o pow. 2,5 cm<sup>2</sup>. Na każdym badanym fragmencie oceniano rodzaj i ilość zmian. Badania mikroskopowe zostały wykonane przy użyciu mikroskopu Nikon SMZ 1500 z programem: NIS-Elements Basic Research.

Dokonano analizy zmian w budowie plech porostów, uwzględniając sześć kwartałów: II, III, IV – w 2010 roku oraz I, II, III w 2011 roku. Zmiany mikroskopowe po okresie ekspozycji porostów dotyczyły nekroz, przebarwień, ubytków brzegowych rozet, wykruszeń, wygięć plechy, zaniku soraliów wargowych. Po uzyskaniu serii dokumentacji fotograficznej wykonano analizę porównawczą uszkodzeń ekspozowanych plech, występujących w poszczególnych kwartałach badań oraz analizę porównawczą uszkodzeń plech wynikających z odległości od emitora zanieczyszczeń. Widoczne na zdjęciach formy uszkodzeń plech zestawiono w tabelach.

#### WYNIKI

Warunki meteorologiczne, w tym kierunek wiatru, mają istotny wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza. Przeprowadzona analiza

kierunków wiatru wykazała przewagę wiatrów z sektora południowego i zachodniego. W okresie ekspozycji porostów, obejmującym miesiące kwiecień, maj i czerwiec 2010 roku, wiatr wiał z sektora południowego z przewagą wiatrów południowo-zachodnich (ryc. 2). Ekspozycja w październiku, listopadzie, grudniu 2010 roku to wpływ wiatrów z sektora zachodniego i południowego (ryc. 3). W okresie ekspozycji obejmującej styczeń, luty i marzec 2011 roku wpływ wiatrów w przeważającej części pochodził z sektora zachodniego. W okresie tym występowały także wiatry z kierunku południowo-zachodniego oraz północno-zachodniego (ryc. 4). Badane transplanty znajdowały się w miejscach ekspozycji zgodnych z kierunkami wiejących w okresie badawczym wiatrów, co spowodowało brak lub minimalne różnice w typach i drastyczności zmian w plechach transplantowanego bioindykatora, determinowanych odległością od źródła emisji punktowej.

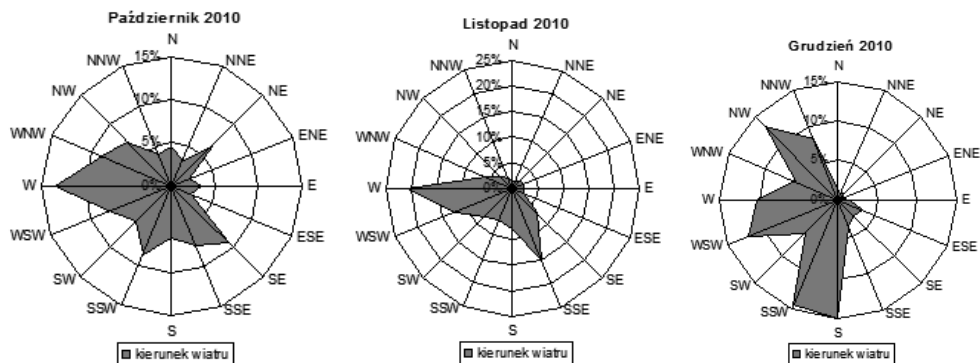


Ryc. 2. Kierunki wiatru w okresie ekspozycji porostów *Hypogymnia physodes* (II kwartał roku 2010)

Źródło: Stacja Bazowa ZMŚP Święty Krzyż.

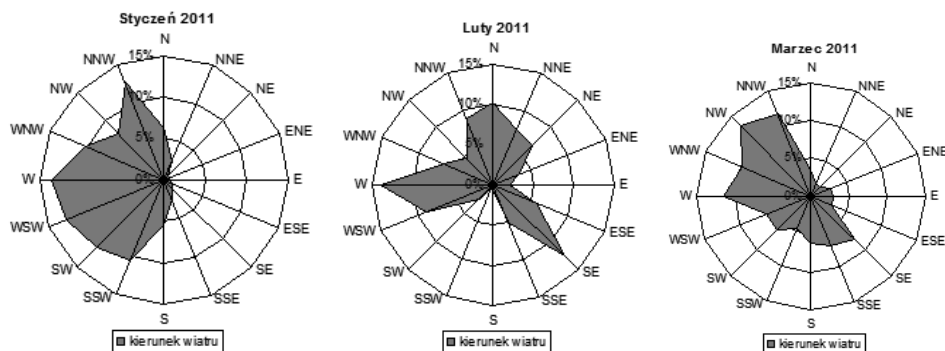
Fig. 2. Wind directions during the exposure of lichens *Hypogymnia physodes* (II quarter of 2010)

Source: Base station ZMŚP Święty Krzyż.



Ryc. 3. Kierunki wiatru w okresie ekspozycji porostów *Hypogymnia physodes* (IV kwartał roku 2010  
Źródło: Stacja Bazowa ZMŚP Święty Krzyż.

Fig. 3. Wind directions during the exposure of lichens *Hypogymnia physodes* (IV quarter of 2010  
Source: Base station ZMŚP Święty Krzyż.



Ryc. 4. Kierunki wiatru w okresie ekspozycji porostów *Hypogymnia physodes* w I kwartale roku 2011

Źródło: Stacja Bazowa ZMŚP Święty Krzyż.

Fig. 4. Wind directions during the exposure of lichens *Hypogymnia physodes* during the I quarter of 2011

Source: Base station ZMŚP Święty Krzyż.

W całym okresie badań wykonano 516 zdjęć dokumentujących uszkodzenia plech. Dodatkowo wykonano 30 fotografii próbek kontrolnych. Plechy próbki kontrolnej zachowywały naturalny kolor i kształt charakterystyczny dla pustułki pęcherzykowatej. Posiadały prawidłowo rozwinięte oraz wywinięte wargowo

soralia, oraz białe, białozielonawe soredia. Analiza morfologii plech transplantowanych w bezpośredniej odległości od emitora zanieczyszczeń wykazała liczne zmiany barwne (109/159 zdjęć), nekrozy (92/159 zdjęć) oraz wykruszenia całych rozet (72/159 zdjęć). Najrzadziej notowane zmiany to wygięcia plechy (30/159 zdjęć, tab. 1).

Tabela 1. Częstotliwość zmian w budowie morfologicznej plech w bezpośrednim sąsiedztwie źródła emisji

Table 1. Frequency of changes in thallus morphology in direct distance of the source of spot emission

Kwartał roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Types of changes</i>						Razem <i>Altogether</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Colouring</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>The loss of marginal rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Crumbling of the whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Bending of thallus</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in labial soralia</i>	
II* 2010	4	6	3	6	3	1	23
III* 2010	19	22	10	14	3	5	73
IV* 2010	16	20	9	10	6	9	70
I* 2011	15	21	14	12	4	13	79
II* 2011	17	18	10	13	8	10	76
III* 2011	21	22	9	17	6	18	93
Razem <i>Altogether</i>	92	109	55	72	30	56	414

\* Liczba zmian na każdej z 10 próbek o pow. 2,5 cm<sup>2</sup>.

Ekspozycja transplantów w bezpośrednim sąsiedztwie emitora punktowego powinna uwzględniać charakterystykę obszaru badań. Występuje tu zwarta zabudowa architektoniczna, a w związku z tym słaba cyrkulacja powietrza i spowolniona dyspersja zanieczyszczeń.

Kwartał III to miesiące letnie, co w warunkach zwartej zabudowy jest przyczyną przesuszania plech porostów. Lokalizacja transplantów w bezpośredniej odległości



od źródła emisji zanieczyszczeń skutkuje uszkodzeniami soraliów wargowych (najliczniejsze w porównaniu z pozostałymi stanowiskami, tab. 1–4). Stwierdzone uszkodzenia soraliów powodują utratę zdolności plech do wytwarzania sorediów, a zatem powstawania pleszek potomnych.

Tabela 2. Częstotliwość zmian w budowie morfologicznej plech porostów w odległości 5 km od źródła emisji

Table 2. Frequency of changes in thallus morphology in the distance of 5 kilometers from the source of spot emission

Kwartał roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Types of changes</i>						Razem <i>Altogether</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Colouring</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>The loss of marginal rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Crumbling of the whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Bending of thallus</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in labial soralia</i>	
II* 2010	3	5	2	4	5	2	21
III* 2010	7	15	6	10	5	7	50
IV* 2010	16	17	15	13	7	9	77
I* 2011	19	18	8	4	5	8	62
II* 2011	11	15	7	10	6	6	55
III* 2011	16	19	9	11	4	7	66
Razem <i>Altogether</i>	82	89	37	52	32	39	331

\* Liczba zmian na każdej z 10 próbek o pow. 2,5 cm<sup>2</sup>.

Największą ilość zmian mikroskopowych w plechach porostów w odległości 5 km od emitora stwierdzono w IV kwartale roku (tab. 2). Lokalizacja transplantów w odległości 5 km od emitora to przede wszystkim zmiany barwne. Najrzadziej występujące zmiany to wygięcia i deformacje plechy, które wynikają z ich przesuszania. Charakterystyka terenu badań w analizowanym punkcie wskazuje na sąsiadujący z miejscem ekspozycji transplantów drzewostan, co lokalnie

poprawia warunki wilgotności powietrza, a w związku z tym plechy transplantów w większości zachowują kształt charakterystyczny dla taksonu.

Tabela 3. Częstotliwość zmian w budowie morfologicznej plech porostów w odległości 10 km od źródła emisji

Table 3. Frequency of changes in thallus morphology in the distance of 10 kilometers from the source of spot emission

Kwartał roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Types of changes</i>						Razem <i>Altogether</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Colouring</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>The loss of marginal rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Crumbling of the whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Bending of thallus</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in labial soralia</i>	
II# 2010	–	–	–	–	–	–	–
III# 2010	–	–	–	–	–	–	–
IV* 2010	20	24	8	9	3	6	70
I* 2011	15	16	9	7	2	9	58
II* 2011	11	15	5	11	7	7	56
III* 2011	17	18	5	10	5	6	61
Razem <i>Altogether</i>	63	73	27	37	17	28	245

# Próbkę badawczą zostały zdjęte i/lub zniszczone bez wiedzy i zgody badacza.

\* Liczba zmian na każdej z 10 próbek o pow. 2,5 cm<sup>2</sup>.

Ekspozycja plech *Hypogymnia physodes* w odległości 10 km od emitora wykazała powtórnie najliczniej występujące zmiany o charakterze przebarwień (tab. 3). Suma wykazanych zmian jest największa w IV kwartale roku (tak jak w przypadku punktu oddalonego o 5 km od miejsca emisji punktowej) mimo rejestracji danych częściowych, wynikających z przyczyn niezależnych od badacza (# próbki badawcze zostały zdjęte i/lub zniszczone).

Obszar ekspozycji transplantowanych plech charakteryzuje pokrycie niską roślinnością zielną. Otwarta przestrzeń sprzyja napływowi zanieczyszczeń

i osadzaniu toksykantów w organizmie biowskaźnika, co potwierdza zachodzenie procesów imisji zdalnej.

Tabela 4. Częstotliwość zmian w budowie morfologicznej plech porostów w odległości 15 km od źródła emisji

Table 4. Frequency of changes in thallus morphology in the distance of 15 kilometers from the source of spot emission

Kwartał roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Types of changes</i>						Razem <i>Altogether</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Colouring</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>The loss of marginal rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Crumbling of the whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Bending of thallus</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in labial soralia</i>	
II*	5	7	4	8	3	4	31
III *	19	15	15	14	4	5	72
IV*	21	14	10	9	5	12	71
I *	16	17	6	10	5	8	62
II *	17	15	8	14	6	5	65
III *	21	22	9	11	6	7	76
Razem <i>Altogether</i>	99	90	52	66	29	41	377

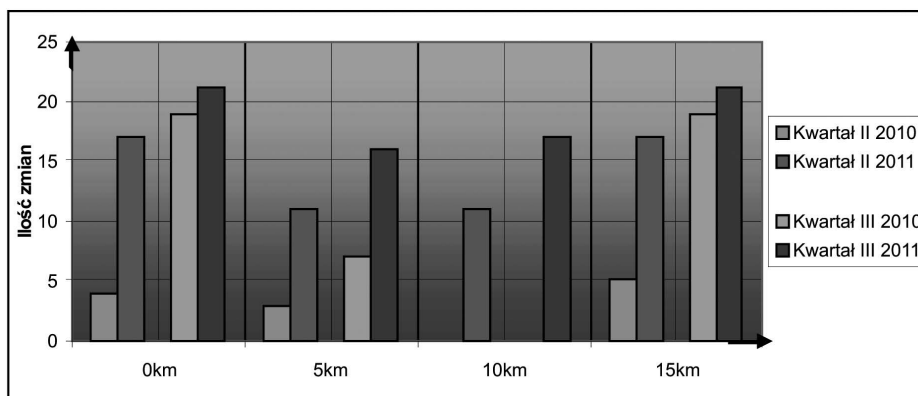
\* Liczba zmian na każdej z 10 próbek o pow. 2,5 cm<sup>2</sup>.

Źródło: Opracowanie własne. Source: Own.

Lokalizacja transplantów w odległości 15 km od źródła zanieczyszczeń wykazała, że liczba nekroz (99/153 zdjęć) oraz liczba zmian w soraliach wargowych (41/153 zdjęć) zbliżona jest do wartości odnotowanych w punkcie położonym przy emitorze zanieczyszczeń. Najwięcej zmian odnotowano w III kwartale roku 2010 i 2011 (tab. 4). Bliskość zbiornika wodnego oraz zwartego drzewostanu w miejscach ekspozycji transplantów w znacznej mierze poprawia lokalnie wilgotność powietrza. Pozwala to na zachowanie listkowatego kształtu plech (wygięcia stanowią jedynie 7,7% wszystkich notowanych uszkodzeń). Liczba odnotowanych

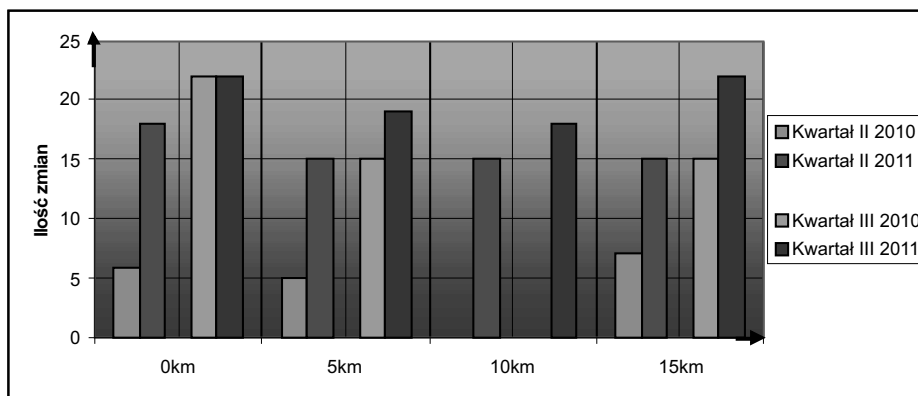
nekroz i przebarwień plech wskazuje na zmiany w relacjach ilościowych fotobiont-mycobiont, co z kolei świadczy o ciągłym narażaniu plechy na zanieczyszczenia, mimo 15-kilometrowego oddalenia od źródła emisji.

Występowanie określonego typu zmian w budowie morfologicznej w zależności od odległości od źródła emisji przedstawiają ryciny 5–10.



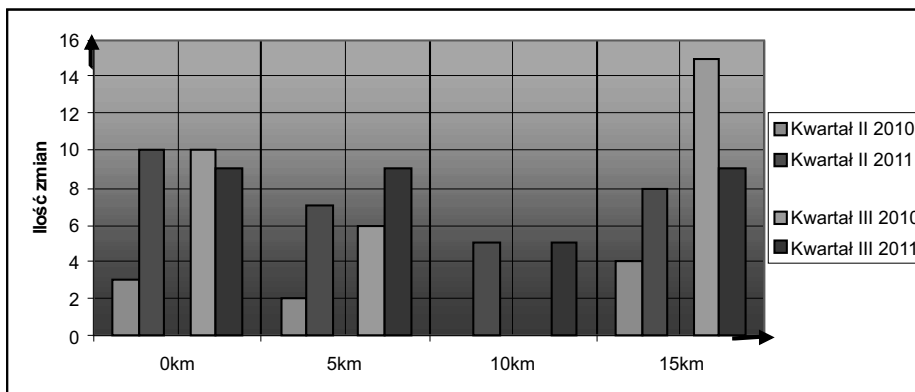
Ryc. 5. Nekrozy na plesze porostów transplantowanych w kwartałach roku 2010 i 2011

Fig. 5. Comparison of the amount of necrosis on transplanted lichens thallus in the quarters of 2010 and 2011



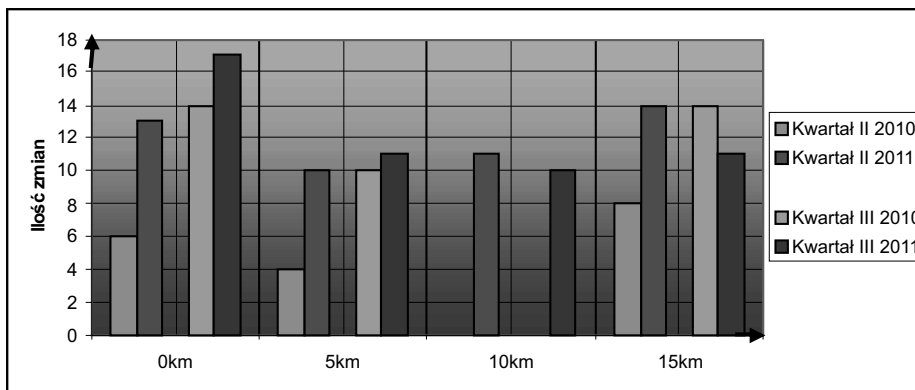
Ryc. 6. Przebarwienia na plesze porostów transplantowanych w kwartałach roku 2010 i 2011

Fig. 6. Comparison the amount of discoloration on the transplanted lichens thallus in the quarters of 2010 and 2011



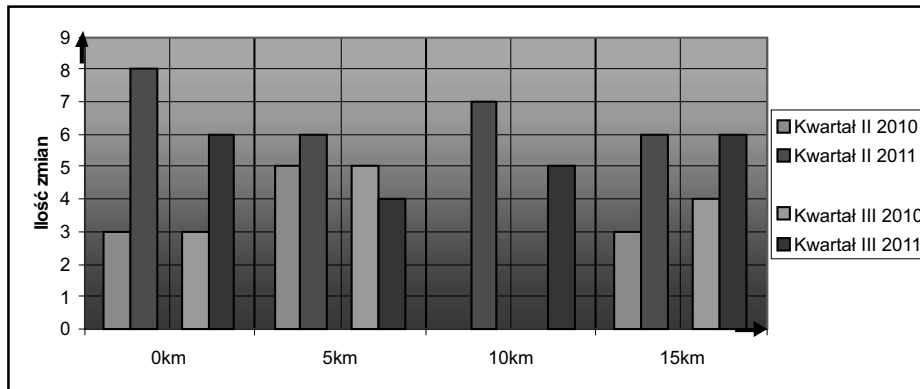
Ryc. 7. Ubytki brzegowe rozet w plechach porostów transplantowanych w kwartałach roku 2010 i 2011

Fig. 7. Comparing the amount of loss caused to the edge rosettes transplanted lichens thallus in the quarters of 2010 and 2011



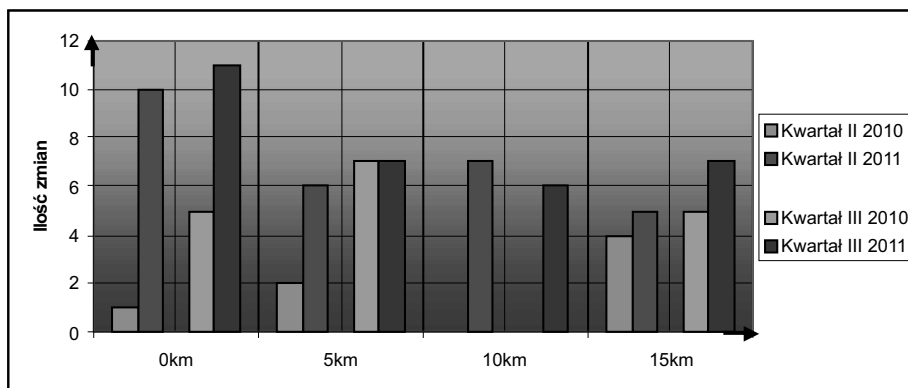
Ryc. 8. Wykruszenia całych rozet w plechach porostów transplantowanych w kwartałach roku 2010 i 2011

Fig. 8. Comparing the amount of arising chipping of whole rosettes transplanted lichens thallus in the quarters of 2010 and 2011



Ryc. 9. Wygięcia plechy obserwowane w kwartałach roku 2010 i 2011

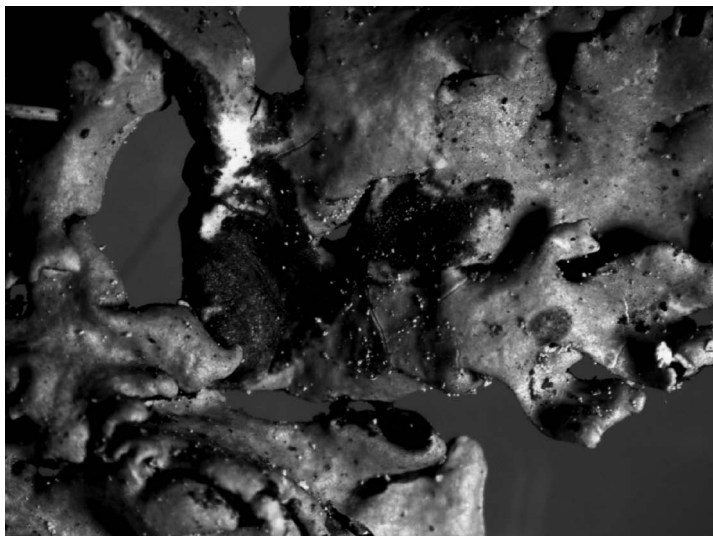
Fig. 9. Comparing the amount of bending thallus in the quarters of 2010 and 2011



Ryc. 10. Zmiany w soraliach wargowych powstałe na plesze porostów transplantowanych w kwartałach roku 2010 i 2011

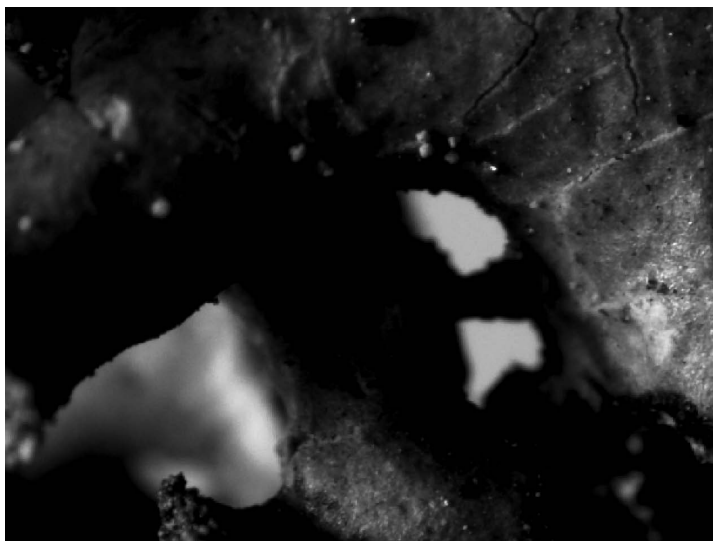
Fig. 10. Comparing the amount of changes in labial soralia arising on the transplanted lichens thallus in quarters of 2010 and 2011

Makroskopowe zmiany morfologiczne plech transplantów porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. wykazane w dokumentacji fotograficznej pozwoliły na wyróżnienie 3 typów zmian o charakterze przebarwień: zaciemnień (fot. 1, 2), zbieleń (fot. 3) i zbrązowień, oraz zmian struktury plechy dotyczących: nekroz, wykruszeń (fot. 4), odkształceń poprzez wyginanie (fot. 5) i zwijanie części rozet, zaniku soraliów wargowych (fot. 6). W okresie badań najczęściej występujące zmiany to przebarwienia plech (ryc. 6). Wśród wszystkich notowanych typów zmian przebarwienia wystąpiły w 70% wykonanej dokumentacji fotograficznej, najrzadziej pojawiające się to odkształcenia i wygięcia plechy.



Fot. 1. Zaczernienia plechy eksponowanej w bezpośrednim sąsiedztwie emitora zanieczyszczeń udokumentowane w IV kwartale 2010 roku. Fot. B. Bętkowska

Photo 1. Blackening caused directly by the emitter of pollutants in the quarter IV. Photo by B. Bętkowska



Fot. 2. Wykruszenia i zmiany w soraliach wargowych oraz zaczernienia powstałe w bezpośrednim sąsiedztwie emitora zanieczyszczeń udokumentowane w I kwartale 2011 roku. Fot. B. Bętkowska

Photo 2. Crumbling, changes in labial soralia and blackening incurred in the I quarter at the emitter of pollutants. Photo by B. Bętkowska



Fot. 3. Zmiany w soraliach wargowych (nekrozy i wykruszanie) plech eksponowanych w odległości 5 km od emitora punktowego – kwartał I 2011 roku. Fot. B. Bętkowska

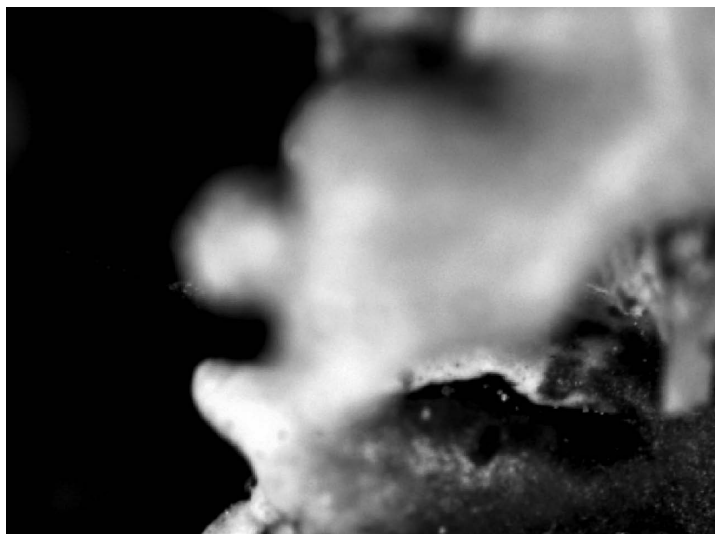
Photo 3. Changes in labial soralia transplanted at a distance of 5 km from the emitter point – I quarter. Photo by B. Bętkowska



Fot. 4. Zbielenia na plesze porostu w punkcie 3. oddalonym o 10 km od źródła emisji – kwartał IV 2010 roku. Fot. B. Bętkowska

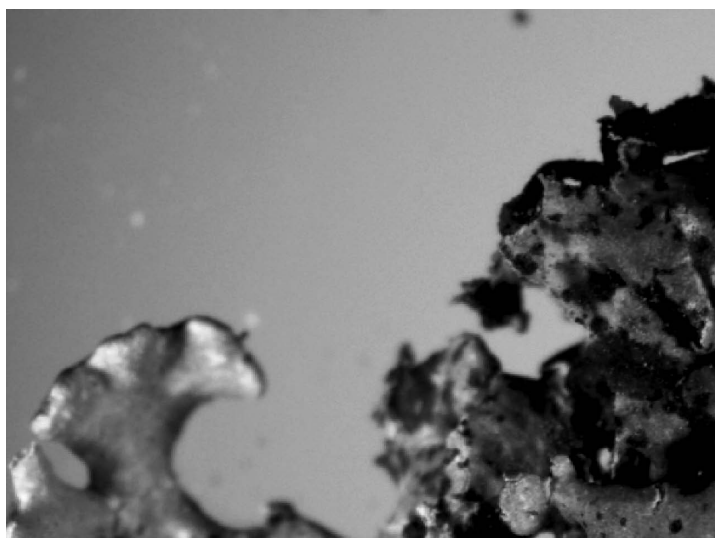
Photo 4. Whitening of the lichen thalli in point 3. at the distance of 10 km from the emission source – quarter IV. Photo by B. Bętkowska





Fot. 5. Zaczernienia plechy stwierdzone na próbkach eksponowanych 15 km od emitora punktowego – kwartał IV 2010 roku. Fot. B. Bętkowska

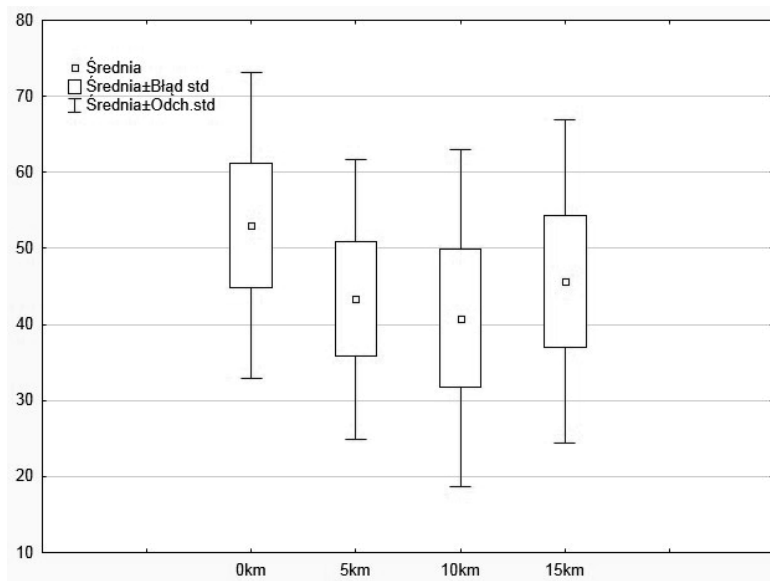
Photo 5. Blackening from a distance of 15 km from the emitter point – quarter IV. Photo by B. Bętkowska



Fot. 6. Wygięcia, deformacja rozetek plechy, wykruszenia plech porostu powstałe w próbkach eksponowanych w odległości 15 km od emitora zanieczyszczeń w kwartale III 2011 roku. Fot. B. Bętkowska

Photo 6. Changes in the lichen thalli regarding necrosis, blackening appearing at the distance of 15 km from the emitter of pollutants in the quarter III of 2011 years. Photo by B. Bętkowska

Rodzaje zmian w plesze porostu zależne były od pory roku oraz kierunku wiatru. W okresie kwartału IV znaczący wpływ na zmiany morfologiczne w próbach z punktu drugiego (5 km) mogła mieć dodatkowa emisja niska, ponieważ transplanty zlokalizowano w punktach badawczych blisko siedzib ludzkich. Intensywne zmiany w plechach w punkcie ekspozycji oddalonym o 15 km od emitora punktowego notowane w III kwartale roku mogły być spowodowane dodatkową emisją zanieczyszczeń wynikających z prac budowlanych przebiegających na tym terenie oraz wzmożonym ruchem samochodowym w okresie letnim – jest to obszar rekreacyjno-wypoczynkowy.



Ryc. 11. Analiza statystyczna zależności ilości i typów zmian w plechach porostów w zależności od odległości transplantów od źródła emisji punktowej i kwartału badawczego

Źródło: Opracowanie własne.

Fig. 4. 11. Statistical analysis according to the number and types of changes in the lichen thalli depending on the distance from the emission source transplants and the research quarter point

Source: Own.

Do przeprowadzenia analizy statystycznej wykorzystano test nieparametryczny Walda-Wolfowitza, jak i Manna-Whitneya. Wykazała ona brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy odległością a częstością występujących uszkodzeń. Prowadzone analizy statystyczne obejmowały cztery kwartały badań, a analiza

dotyczyła uszkodzeń z podziałem na ich rodzaje dla danej powierzchni doświadczalnej. Najbardziej zbliżone do istotnych statystycznie wartości odnotowano analizując ilość i rodzaj uszkodzeń plech eksponowanych bezpośrednio przy emitorze i w odległości 15 km ( $p < 0,07$ ), wykonując test Walda-Wolfowitza. Jednak kontrolne zastosowanie testu Manna-Whitneya nie wykazało istotnych statystycznie różnic (ryc. 11).

#### PODSUMOWANIE

Monitoring aparaturowy umożliwia stałą i systematyczną kontrolę stanu sanitarnego środowiska. System analiz ocenia parametry fizyczne i chemiczne badanych biotopów oraz wskazuje, czy wartości tych parametrów przekraczają lub nie przyjęte normy.

Stosowanie jedynie takich metod nie odpowiada na pytanie: jak notowane przez aparaturę wartości stężeń toksyn wpływają na życie i jego jakość w badanym środowisku? Uzupełnieniem analiz aparaturowych są metody bioindykacyjne.

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój technik bioanalitycznych opartych na wykorzystywaniu organizmów żywych jako biowskaźników, bowiem obserwacje oraz analizy jakościowe i ilościowe organizmów w ich naturalnych warunkach siedliskowych pozwalają na określenie stanu środowiska przyrodniczego.

Organizmy narażone na działanie toksykantów z powietrza reagują zarówno zmianami makroskopowymi, jak i mikroskopowymi. Makroskopowe zmiany morfologiczne plech transplantów porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. objawiają się trzema typami zmian. Są to przebarwienia w postaci zaczerwień, zbieleń oraz zbrązowień, a także zmianami struktury plechy w postaci: nekroz, wykruszeń, odkształceń poprzez wyginanie i zwijanie części rozet, zaniku soraliów wargowych.

Różnorodność zmian w plechach porostu zależna jest od rodzaju i stopnia zanieczyszczeń powietrza toksykantami, a także od pory roku, co jest związane głównie ze zmieniającymi się warunkami meteorologicznymi (temperaturą, wilgotnością względną powietrza, wielkością i czasem trwania opadów, prędkością i kierunkiem wiatru).

Przeprowadzone badania wykazały, że odległość od źródła emisji nie ma istotnego wpływu na oddziaływanie toksykantów na organizmy. Świadczy o tym brak różnic w wielkości i typie zmian makroskopowych plech porostów eksponowanych w bezpośrednim sąsiedztwie emitora, w odległości 5, 10 i 15 km od źródła emisji.

Wskazuje to na duże, przestrzenne zagrożenie zanieczyszczeniami emitowanymi do powietrza atmosferycznego.

### 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

- Bačkor M., Pauliková K., Geralská A., Davidson R., 2003: Monitoring of Air pollution in Košice. Polish Journal of Environmental Studiem, Vol. 12, 2: 141–150.
- Bell J.N.B., Treshow M., 2004: Zanieczyszczenie powietrza a życie roślin, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, s. 345, 346.
- Białońska D., Dayan F.E., 2005: Chemistry of the lichen *Hypogymnia physodes* transplanted to an industrial region, Journal of Chemical Ecology, Vol. 31, No. 12: 2975–2991.
- Casaran-Duman D., 2011: Study on accumulation ability of two lichen *Hypogymnia physodes* and *Usnea hirta* at iron-steel factory site, Turkey, Journal of Environmental Biology 32: 839–844.
- Conti M.E., Cecchetti G., 2001: Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review, Environmental Pollution 114: 471–492.
- Conti M.E., Tudino M., Stripeikis J., Cecchetti G., 2004: Heavy Metal Accumulation in the Lichen *Evernia prunastri* Transplanted at Urban, Rural and Industrial Sites in Central Italy. Journal of Atmospheric Chemistry 49: 83–94.
- Cortés E., 2003: Investigation of air pollution in Chile using biomonitors, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 262, No. 1: 269–276.
- Fałtynowicz W., 1995: Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno, s. 7–11, 15–27, 37–41, 102.  
<http://maps.google.pl/>.
- Jensen M., Chakir S., Feige G.B., 1999: Osmotic and atmospheric degradation effects in the lichens *Hypogymnia physodes*, *Lobaria pulmonaria*, and *Peltigera aphthosa*: an in vivo study of the chlorophyll fluorescence induction, Photosynthetica 37 (3): 393–404.
- Jóźwiak M.A., 2007: Kumulacja metali ciężkich i zmiany morfologiczne w plechach porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 8, s. 51–56, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- Jóźwiak M.A., 2009: Możliwości wykorzystania epifitów do oceny zanieczyszczenia powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 10, s. 57–64, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

- Józwiak M.A., 2010: Biomonitoring środowisk lądowych i wodnych, Wydawnictwo Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego, Kielce, s. 9, 23–24, 27–28, 77–85, 91–92, 116–117.
- Józwiak M.A., 2012: Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. thalli and changes to morphological structure, *Ecological Chemistry and Engineering S* (22 s.) 4 vol. 19.
- Józwiak M. A., Józwiak M., Szwed M., 2010: Metody transplantacji porostów stosowane w biomonitoringu powietrza atmosferycznego, *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 11, s. 15–23, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- Józwiak M.A., Jachymczyk B., 2011: Rola naturalnych zapór w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń komunikacyjnych pochodzących z emisji liniowej, *Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 12, Kielce, s. 51–58.
- Kłós A., 2009: Porosty w biomonitoringu środowiska, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole, s. 11–146.
- Kolanko K., Matwiejuk A., Krukowska K., 2008: Różnorodność badań botanicznych – 50 lat Białostockiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Botanicznego 1958–2008. Porosty i ich właściwości, *Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok*, s. 133–147.
- Puszkarski L., 1997: Ocena lichenindykacyjna zanieczyszczenia powietrza w rejonie Puław, *Praca habilitacyjna H(12)*, IUNG, Puławy.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J., 2005: Air pollution in the base stations of the Environmental Integrated Monitoring System in Poland, *Air Pollution XIII*: 465–475.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., 2007: Biological monitoring – the useful method for estimation of air and environment quality, *Air Pollution XV*: 353–362.
- 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*, Vol. 11, s. 63–71, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- Wójciak H., 2007: Porosty, mszaki, paprotniki, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa, s. 10–25, 124–125.
- Zimny H., 2006: Ekologiczna ocena stanu środowiska: bioindykacja i biomonitoring, *Agencja Reklamowo-Wydawnicza Arkadiusz Grzegorzczak, Warszawa*, s. 17–20, 22, 24, 239–240.

