

KUMULACJA METALI CIĘŻKICH I ZMIANY MORFOLOGICZNE W PLECHACH POROSTU *HYPOGYMNINGIA PHYSODES* (L.) NYL.

Małgorzata Jóźwiak

Jóźwiak M., 2007: Kumulacja metali ciężkich i zmiany morfologiczne w plechach porostu *Hypogymnia physodes* (L.)Nyl. (*Accumulation of heavy metals and morphological changes in thalli of Hypogymnia physodes* (L.)Nyl.) lichen, *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* nr 8, s. 51-56, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących oceny zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi na podstawie biomonitoringu w Kielcach. Jako bioindykatora wykorzystano pustułkę pęcherzykową *Hypogymnia physodes* (L.)Nyl. Porost przywożony na gałązkach z Puszczy Boreckiej eksponowano w wybranych punktach miasta w cyklach trzymiesięcznych w roku 2006. Uzyskane wyniki przedstawiają analizę chemiczną plechy eksponowanych porostów na zawartość metali ciężkich oraz zmiany morfologiczne stwierdzone przy użyciu mikroskopu stereoskopowego.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie powietrza, biomonitoring, metale ciężkie, plecha porostu.

Key words: pollution, biomonitoring, heavy metals, thalli lichen.

Małgorzata Jóźwiak, Akademia Świętokrzyska, Samodzielny Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Świętokrzyska 15, marjo@neostrada.pl

1. Wprowadzenie

Ze względu na ciągły, ekspansywny rozwój przemysłu motoryzacyjnego i kroczącą industrializację koniecznym jest stałe monitorowanie środowiska naturalnego. Obserwacja i jego badanie pozwala na szybkie reagowanie, przeciwdziałanie lub ostrzeżenie przed niekorzystnymi i być może nieodwracalnymi zmianami (Burton 1986, Conti i in. 2004). Do metod o nieinwazyjnym charakterze należą metody biologiczne oceny jego stanu. Pozwalają na wykorzystanie organizmów żywych oraz badanie ich wrażliwości na zanieczyszczenia i obserwacje w warunkach siedliskowych (Łubek, Cieśliński 2005). Badania te noszą wspólną nazwę biomonitoringu i polegają m.in. na wykrywaniu i określaniu koncentracji metali ciężkich, radionuklidów, zanieczyszczeń gazowych i związków organicznych (PCB i WWA) w plechach takich biowskaźników jakimi są porosty (Rühling, Tyler 1973, Pilega-

ard i wsp. 1979). Powszechność występowania, różnorodność zajmowanych biotopów, samowystraczalność życiowa, przy jednoczesnej niewielkiej zdolności adaptacyjnej do zmieniających się warunków oraz słabe zabezpieczenie organizmu przed wpływami warunków zewnętrznych i duża zdolność pochłaniania wilgoci z atmosfery nadają im cechy biowskaźników (Loppi i wsp. 1992, Fałtynowicz 1995). Inną ważną cechą tych organizmów jest długi czas życia i zdolność do kumulowania substancji toksycznych w ilościach, które dla roślin naczyniowych lub zwierząt są śmiertelne (De Wit 1983, Puckett 1988, Jones i wsp. 1991). Pierwsze wzmianki o wykorzystaniu organizmów do oceny jakości środowiska pochodzą z 1866 roku (Jura, Krzanowska 1998)). Opisano wówczas zmiany w biocie porostów wiążąc je ze zmianami jakości powietrza atmosferycznego. Współcześnie, dzięki zaawansowanym technikom analitycznym możemy w plechach porostów oznaczać koncentrację

Fot. 1. Plecha *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (fot. M. Józwiak)

Photo. 1. Thalli structure of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (photo. M. Józwiak)

metali ciężkich, radionuklidów, zanieczyszczeń gazowych i związków organicznych (Rühling, Tyler 1973, Pilegaard i wsp. 1979, Sawicka-Kapusta i in. 2005).

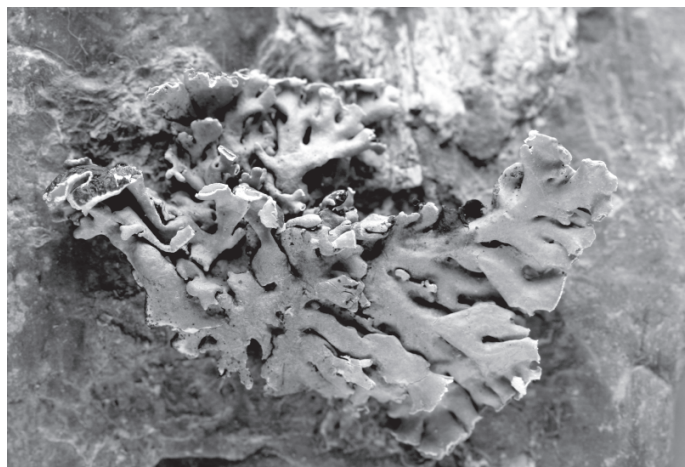
W miastach, ze względu na duże skażenie powietrza metalami ciężkimi, dwutlenkiem siarki, tlenkami azotu i WWA występowanie porostów jest bardzo ograniczone. Istnieje możliwość wykorzystania tych bio wskaźników do oceny zanieczyszczenia powietrza metodą transplantacji – badania stosowane. Polega ona na przeniesieniu żywych plech porostów z terenu czystego w tereny silnie zanieczyszczone. Ekspozycja porostu na działanie zanieczyszczeń w wytypowanych, zależnie od stopnia potencjalnego występowania źródeł emisji, punktach miasta i późniejsza analiza jego składu chemicznego, przy wykorzystaniu dotychczasowej wiedzy, pozwala na określenie stopnia skażenia powietrza z punktu widzenia ochrony zdrowia jego mieszkańców. Wykorzystanie wszystkich właściwości i cech porostów umożliwia również wytypowanie obszarów, regionów lub miejsc zagrożonych skutkami rozwoju przemysłu i motoryzacji, albo wskazanie miejsc czystych środowiskowo na potrzeby odpoczynku, rehabilitacji i bioodnowy.

Celem badań było określenie wielkości kumulacji wybranych metali ciężkich w porostach transplantowanych z Puszczy Boreckiej (NE Polski) oraz określenie zmian w budowie morfologicznej plechy pod wpływem zanieczyszczeń powietrza w warunkach miejskich.

2. Obiekt i metody badań

Obiektem badań jest porost pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Jest to grzyb zlichenizowany z rodziny *Parmeliaceae* - Tarczownicowate, rodzaju *Hypogymnia* (Nyl.) Nyl. – Pustułka. Plecha o kolorze szaro lub oliwkowo-zielonym. Powierzchnia plechy podzielona jest na wyraźnie wyodrębnione odcinki, które miejscami zachodzą na siebie lub są wyniesione ku górze. Zakończenia plechy dychotomicznie rozgałęzione, na końcach mocno sfaldowane lub wywinięte ku górze (Nowak, Tobolewski 1975). Rozetki z soralami wargowymi na obrzeżach białawozielone (fot. 1). Plecha przylega do podłoża zmarszczkami kory dolnej, brak chwytników, kolor dolnej strony plechy brunatny, brunatno-brązowy, miejscami czarny.

Badania przeprowadzono w 2006 roku. Na terenie miasta Kielce wytypowano cztery skrzyżowania ulic o największym natężeniu ruchu kołowego. Były to: skrzy-



żowanie ulic Jesionowej /Warszawskiej /Świętokrzyskiej, Źródłowej/Sandomierskiej/IX WiekówKielc/Solidarności, Jagiellońskiej/Grunwaldzkiej oraz Żeromskiego/Seminaryjska. W miejscach tych, w cyklach trzymiesięcznych ekspozowano porost pustułka pęcherzykowatą *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Dla każdej ekspozycji pobierana była próbka zerowa. Materiał sprowadzono z Puszczy Boreckiej (NE Polska) na gałązkach, które rozwieszano na wysokości 2 m nad powierzchnią gleby, na drzewach w pobliżu wybranych skrzyżowań.

W zebranych porostach, po ich trzymiesięcznej ekspozycji, oznaczano metale ciężkie – Pb, Zn, Fe, Cu, Cd przy użyciu spektrofotometru absorpcji atomowej IL 251. Analizy wykonywano w Zakładzie Ochrony Środowiska na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej. Dane meteorologiczne pochodzą ze Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej (Stacja Geoekologiczna Malik).

Zmiany morfologiczne plech porostów po ekspozycji obserwowano w mikroskopie stereoskopowym Nikon SMZ 645.

3. Wyniki

Istotne znaczenie w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym odgrywają warunki meteorologiczne. Wielkość opadów, wilgotność względna powietrza oraz temperatura mają duży wpływ na tempo akumulacji zanieczyszczeń w pechach porostów.

3.1. Charakterystyka warunków meteorologicznych

Temperatura. Średnia miesięczna temperatura powietrza w 2006 r. wynosiła 9,3°C. Najcieplejszym miesiącem w roku był lipiec z średnią temperaturą 23,0 °C, najzimniejszym styczeń -5,0 °C (ryc. 1).

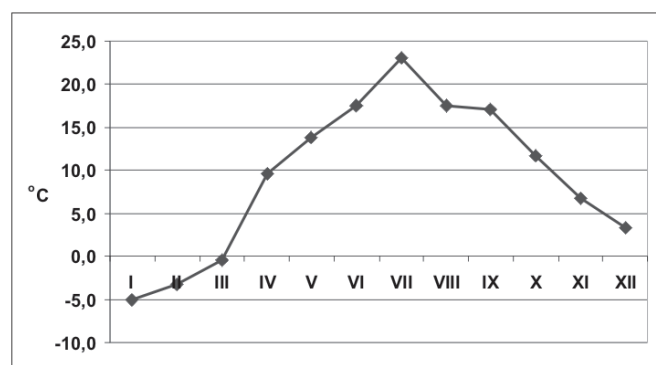
W okresach ekspozycji porostu *Hypogymnia physodes* temperatura wahała się od -2,9 w I terminie ekspozycji, tj od stycznia do marca, do 19,2 °C w III terminie (od lipca do września) – rycina 2.

Opady. Suma opadów atmosferycznych w okresie przyjętym do badań wyniosła 506,1 mm i wahała się od 1,0 mm w lipcu do 113,8 mm w sierpniu do (ryc. 3).

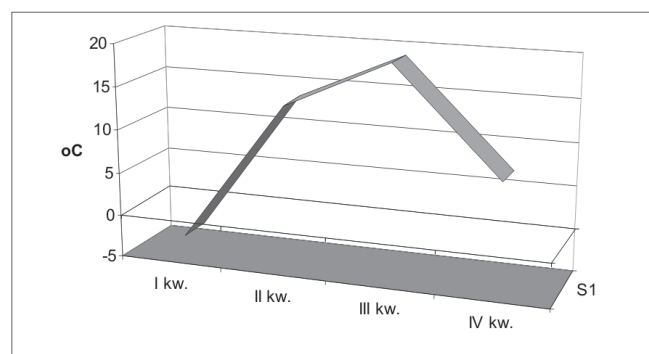
W terminach ekspozycji porostu sumy opadów wykazywały mniejszą dynamikę, na co w głównej mierze wpłynęły wysokie opady w sierpniu. W I terminie suma opadów wyniosła 97,4 mm, w drugim 129,8 mm, w trzecim 142,8 mm, w czwartym 139,4 mm. (ryc. 4).

Wilgotność względna powietrza. Średnia wilgotność względna powietrza w roku 2006 wynosiła 72,1%, z wahaniami od 46,8% w lipcu do 88,8% w lutym (ryc. 5).

W okresach ekspozycji porostu wilgotność względna powietrza wynosiła dla I terminu 81,8%, dla II – 63,2%, dla III – 63,5% i dla IV – 79,3% (ryc. 6). Wiatr wiał głównie z sektora północnego i zachodniego.

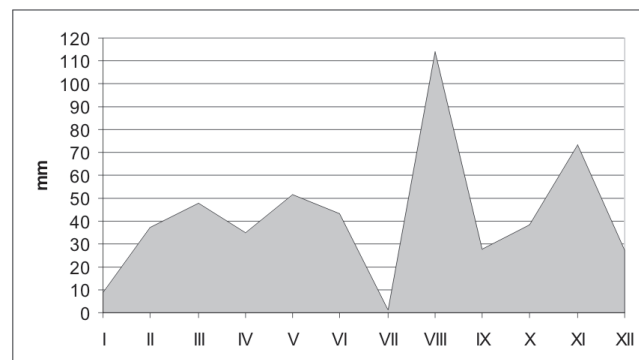


Ryc. 1. Średnie miesięczne temperatury w Kielcach w 2006 r.
Fig. 1. Average monthly temperatures for Kielce in 2006



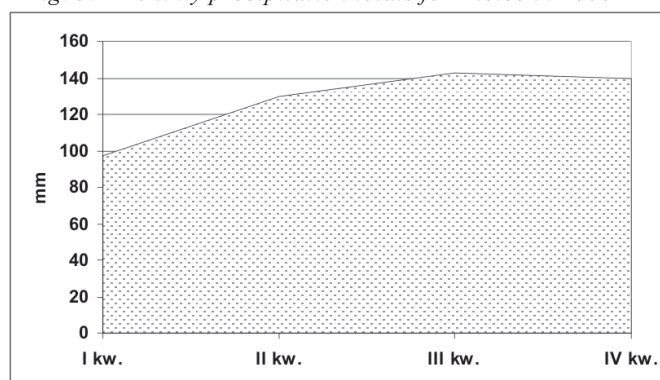
Ryc. 2. Średnie wartości temperatury w terminach ekspozycji porostu *Hypogymnia physodes*
Fig. 2. Average temperatures in exposure terms of *Hypogymnia physodes* lichen

Ryc. 6. Wilgotność względna powietrza w terminach ekspozycji porostu *Hypogymnia physodes*
Fig. 6. Relative air humidity in exposure terms of *Hypogymnia physodes* lichen

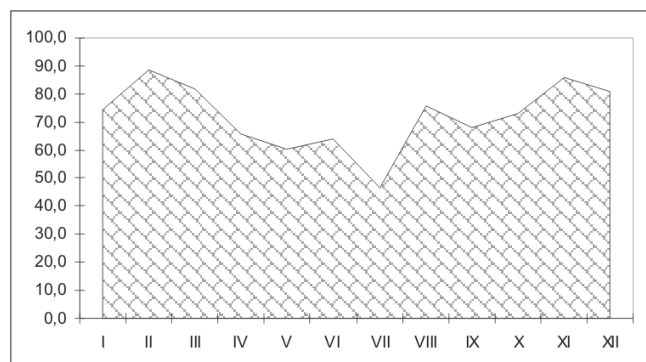


Ryc. 3. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych w Kielcach w 2006 r.

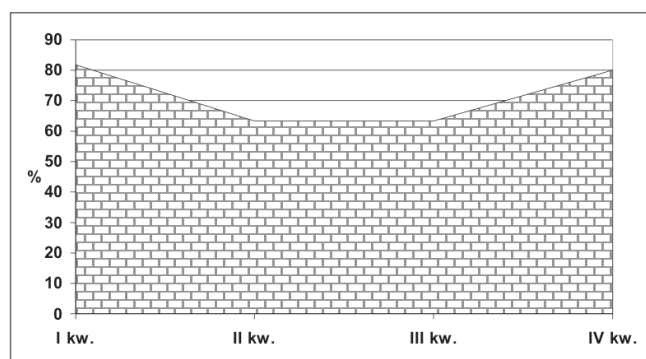
Fig. 3. Monthly precipitation totals for Kielce in 2006



Ryc. 4. Sumy opadów atmosferycznych w terminach ekspozycji porostu *Hypogymnia physodes*
Fig. 4. Quarterly precipitation sums in exposure terms of *Hypogymnia physodes* lichen



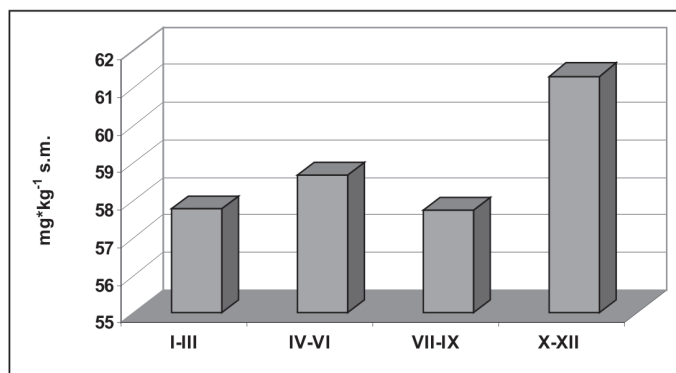
Ryc. 5. Miesięczne wartości wilgotności względnej powietrza w Kielcach w 2006 r.
Fig. 5. Monthly relative air humidity for Kielce in 2006



3.2. Analiza stężeń metali ciężkich w plechach porostów

Głównym źródłem metali ciężkich w powietrzu w warunkach miejskich są spaliny pojazdów mechanicznych, ścierające się opony samochodowe oraz emisja niska. Na podstawie badań przeprowadzonych w Kielcach na zlecenie Urzędu Miasta przez firmę LEMITOR z Wrocławia (Obszary 2005) stwierdzono, że najbardziej obciążonym ruchem samochodowym są skrzyżowania ulic Sandomierskiej/IX Wieków Kielc/Solidarności/Zróżdłowej - 2436 pojazdów na godzinę oraz skrzyżowanie Warszawska/Jesionowa/Świętokrzyska - 2172 pojazdy na godzinę.

Na podstawie analizy chemicznej plech porostu *Hypogymnia physodes* na zawartość metali ciężkich (Cu, Fe, Cd, Zn, Pb), stwierdzono, że średnie stężenie badanych metali w roku 2006 w Kielcach wynosiło 58,87 mg*kg⁻¹s.m., najwyższe średnie wartości osiągając w IV kwartale (61,30 mg*kg⁻¹s.m.).

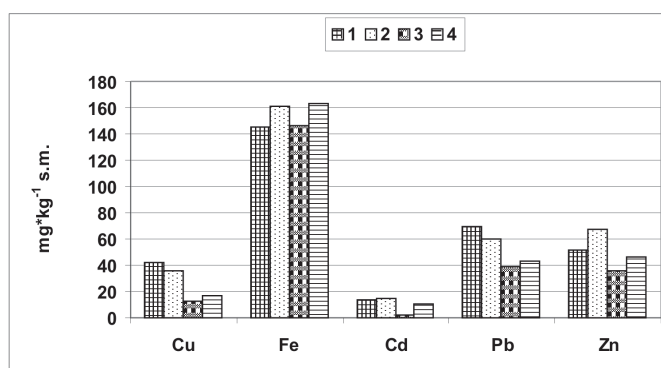


Ryc. 7. Średnie kwartalne stężenie metali ciężkich w plechach *Hypogymnia physodes* ekspozycyjnych na skrzyżowaniach w Kielcach w 2006 r.

Fig. 7. Quarterly average concentration of heavy metals in thalli of *Hypogymnia physodes* exposed on crossroads in Kielce in 2006

Spośród badanych metali największe stężenia stwierdzono dla żelaza (średnia dla roku 153,81 mg*kg⁻¹s.m.) oraz dla ołowiu (średnia dla roku 52,82 mg*kg⁻¹s.m.), najmniejsze dla kadmu (10,48 mg*kg⁻¹s.m.) – rycina 8.

Żelazo w powietrzu dominowało w rejonie skrzyżowania ulic Jagiellońskiej/ Grunwaldzkiej, natomiast ołów - Jesionowej/ Warszawskiej/Świętokrzyskiej.



Ryc. 8. Średnie roczne stężenie metali ciężkich w plechach *Hypogymnia physodes* w miejscach ekspozycji w roku 2006

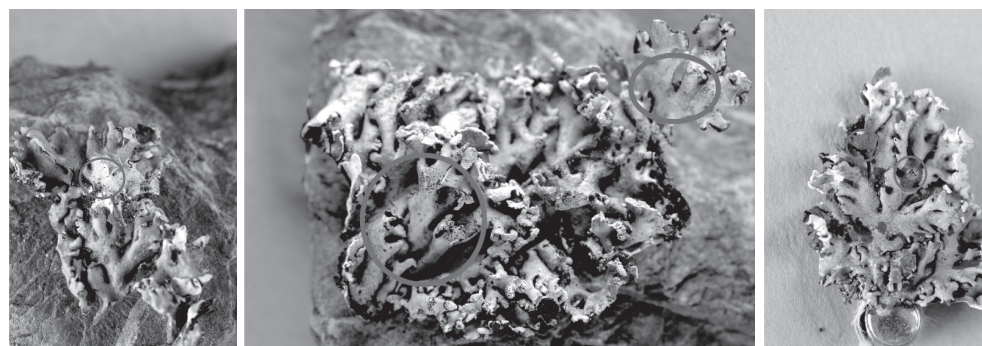
skrzyżowania:

- 1 - Jesionowa/Warszawska/Świętokrzyska
- 2 - Zróżdłowa/Sandomierska/Solidarności
- 3 - Seminaryjska/Żeromskiego
- 4 - Jagiellońska/Grunwaldzka

Fig. 8. Average annual concentration of heavy metals in thalli of *Hypogymnia physodes* in places of exposure in 2006

cross - road

- 1 - Jesionowa/Warszawska/Świętokrzyska
- 2 - Zróżdłowa/Sandomierska/Solidarności
- 3 - Seminaryjska/Żeromskiego
- 4 - Jagiellońska/Grunwaldzka



wybielenie whitening

zbrązowienia browning

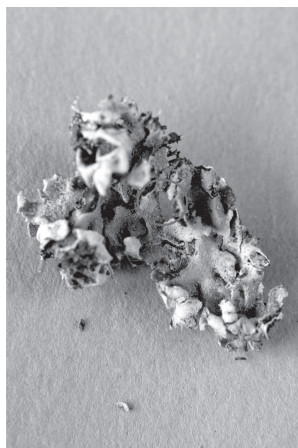
zaczernienia blackening

Fot.2. Przebarwienia plechy *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (fot. M. Józwiak)

Phot. 2. Dye penetration of thalli of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (photo. M. Józwiak)

Fot. 3. Uszkodzenia plechy
Hypogymnia physodes
(L.) Nyl. (fot. M. Józwiak)

Phot. 3. *Thallus damages of*
Hypogymnia physodes
(L.) Nyl. (photo. M. Józwiak)



wykruszenie
spalling



wyginanie plechy i zanik soraliów wargowych
curving a thallus and lipshaped soralia atrophy

3.3. Makroskopowe zmiany morfologiczne plech porostu po ekspozycji

Ocena makroskopowa plech porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. po ekspozycjach na wybranych skrzyżowaniach w Kielcach w roku 2006 pozwala na wyróżnienie trzech typów przebarwień: wybielenia, zbrązowienia i zaczernienia plechy (fot. 2), trzech typów zmian struktury plechy: wykruszanie się fragmentów rozetek w wyniku nekroz, odkształcanie poprzez wyginanie i zwijanie części rozet, zanikanie soraliów wargowych (fot. 3) oraz odstawanie od podłoża i wznoszenie się ku górze.

4. Podsumowanie

Biomonitoring to cenna metoda obserwacji środowiska. Niekwestionowaną jej zaletą jest możliwość obserwacji reakcji organizmów na zmienne środowiska, czego pozbawiony jest eksperyment laboratoryjny. Dzięki organizmom wskaźnikowym możliwa jest właściwa interpretacja wyników badań aparaturowych i ich uzupełnienie. Ponieważ szkodliwe oddziaływanie zanieczyszczeń na organizm człowieka jest bardzo trudne do uchwycenia słusznym jest wytypowanie dla różnych biootopów bioindykatorów o zróżnicowanym stopniu wrażliwości. Wykorzystanie biowskaźników jakimi są porosty jest możliwe ze względu na występowanie bioty porostowej w odpowiednio dużych populacjach oraz w formach łatwych do identyfikacji i pobierania próbek.

W ostatnich latach coraz częściej stosuje się transplantację biowskaźników w celu określenia stopnia zanieczyszczenia środowiska. Najlepiej do tego nadaje się porost (*Hypogymnia physodes*) – gatunek wykorzystany do biomonitoringu w Kielcach. W państwach Unii

Europejskiej i na świecie również stosuje się tę metodę. Niestety ze względu na brak unifikacji zakresu składników zanieczyszczeń, które są badane, bardzo trudno jest dokonać analiz porównawczych. W Centralnych Włoszech (Conti i in. 2004) wykonywano badania porostów, które obejmowały analizę Zn, Cu, Pb, Cd. W porównaniu z przedstawionymi w niniejszym artykule badaniami wartości Cu, Cd i Pb w Kielcach były wyższe., odpowiednio o 15,75 mg*kg⁻¹ s.m., 4,2 mg*kg⁻¹ s.m., 33,76 mg*kg⁻¹ s.m. Jedynie cynk miał takie same wartości. Porównanie z miejscowością Oulu w Środkowej Finlandii (Garty i in. 1997) stężenie miedzi w powietrzu było wyższe u nas o 12,8 mg*kg⁻¹ s.m., a ołowiu o 25,0 mg*kg⁻¹ s.m. W fińskim mieście zanotowano natomiast wyższe stężenie cynkiem o 34,7 mg*kg⁻¹ s.m. Spośród miast w Polsce, w których wykonywano ocenę zanieczyszczenia powietrza przy użyciu porostów wymienić należy Poznań i Legnicę. W stosunku do Poznania (Kepel 1999) w Kielcach zanotowano większe stężenie w powietrzu miedzi o 12,12 mg*kg⁻¹ s.m. i ołowiu o 26,02 mg*kg⁻¹ s.m., a mniejsze cynku o 18,9 mg*kg⁻¹ s.m. W stosunku do Legnicy, gdzie badano tylko stężenie ołowiu, w Kielcach było ono wyższe o 31,9 mg*kg⁻¹ s.m. Wykonywane są również badania w Krakowie, jednak dane nie były jeszcze publikowane.

5. Literatura

- Burton M.A.S., 1986:** *Biological monitoring of environmental contaminants (Plants)*. Report 32. GEMS – Monitoring and Assessment Research Centre, King's College London, University of London, Londyn.
- Conti M.E., Cecchetti G., 2001:** *Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review*, *Environ. Pollut.*, 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.* J. Atmosph. Chemistry, 49, : 83-94.
- De Wit T., 1983:** *Lichens as indicators for air quality.* Environ. Monit. Assess, 3, :273-282.
- Faltynowicz W., 1995:** *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza,* Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno, ss. 141.
- Garty J., Kauppi M., Kauppi A., 1997:** *The influence of Air Pollution on the Concentration of Airborne Elements and on the Production of Stress-Ethylene in the Lichen Usnea hirta (L.) Weber em.Mot.Transplanted in Urban Sites in Oulu, N.Finland.* Arch. Environ. Contam. Toxicol, 32, :285-290.
- Jones D., Wilson M.J., McHardy W.J., 1991:** *Heavy metals in lichens,* W: J.G. Farmer (red.) Proc. Inter. Conf. Heavy metals in the Environment. September 1991, CEP Consultants, Edinburg, 1, :115-117
- Jura C., Krzanowska H., 1998:** *Encyklopedia biologiczna,* T. 1, A-Bn, OPRES, Kraków.
- Kepel A., 1999:** *Porosty Poznania jako wskaźnik zanieczyszczenia atmosfery,* Rozpr. doktorska UAM Poznań, mps, ss. 135.
- Loppi S., Corsini A., Chiti F., Bernardi L., 1992:** *Air quality bioindication by epiphytic lichens in central – northern Italy.* Allionia 31, :107-119.
- Łubek A., Cieśliński S. 2005:** *Ocena stopnia przekształcenia środowiska przyrodniczego Kielce na podstawie stanu zachowania porostów i mszaków.* Oprac. na zlecenie UM Kielce, mps, ss.75.
- Nowak J., Tobolewski Z., 1975:** *Porosty polskie, opisy i klucze do oznaczania porostów w Polsce dotychczas stwierdzonych lub prawdopodobnych,* PWN Warszawa, Kraków.
- Obszary 2005:** *Obszary miasta Kielce o przekroczonych standardach natężenia hałasu,* LEMITOR, Wrocław, mps, ss.58.
- Pilegaard K., Rasmussen L., Gyddesen H., 1979:** *Atmospheric background deposition of heavy metals in Denmark monitored by epiphytic cryptogams.* J. Appl. Ecol., 16 :843-853.
- Puckett K.J., 1988:** *Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition,* Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibl. Lichenol., 30, :231-267.
- Rühling A., Tyler G., 1973:** *Heavy metal deposition in Scandinavia,* Water, Air Soil Pollut., 2, :445-455.
- 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 82, :465-475.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND MORPHOLOGICAL CHANGES IN THALLI OF *HYPOGYMNIA PHYSODES* (L.) NYL. LICHEN

Summary

Specific response of organisms to changes in environment is named biomonitoring, and organisms sensitive to these changes are called bioindicators. Thanks to regular tracking of biotests, chemical and macroscopic analyses, data on qualitative changes of ecological systems are obtained. Characteristic constitution and physiology of lichens qualify these organisms to be used in biomonitoring research. The most important lichen features, which are of primary importance, are as follows: ability to absorb pollution on the whole external structure of thallus due to lack of surface protective layer, moisture uptake from the atmosphere together with pollutants deposited on dust particles, year-round continuous vegetation and environmental eurytopicity. Research on environmental pollution by heavy metals in Kielce was carried out in 2006. Grafting of *Hypogymnia physodes* (L) Nyl. lichen thallia was done in quarterly cycles in selected stands in the city. Grafted lichen thallia were taken from standard clean regions of Northeast Poland (Borecka Forest), and then placed on tree trunks close to research stands. Chemical analysis of heavy metals (Cu, Pb, Fe, Cd, Zn) was performed in "0" sample before exposure, and then another one after 3-month impact of biotopic factors. During macroscopic research, thallus structure was examined using stereoscopic microscope and type of occurring changes (dye penetration, thallus shape, damages of structure on thallus surface) were determined. Results and their evaluation showed that average concentration of tested metals in 2006 in Kielce amounted to 58,87 mg•kg⁻¹ d.w., and reached the highest average values in IV quarter (61,30 mg•kg⁻¹ d.w.). From all tested metals the highest concentration was noticed for iron (annual average of 153,81 mg•kg⁻¹ d.w.) and for lead (annual average of 52,82 mg•kg⁻¹ d.w.), while the lowest concentration was detected for cadmium (Cd) – fig. 8. Morphological changes of *Hypogymnia physodes* thallus structure are displayed as colour changes (whitening, browning, blacking) – photo. 3, and severe damage of morphological structure that is characteristic for systematic features of this species (radial green-gray rosettes) into spalling, necrotic, brittle and curled thallia come off substratum (photo. 1, 4).