

*Anna Świercz\**

M. Strzyż (red.), Perspektywy rozwoju regionu w świetle badań krajobrazowych  
Problemy Ekologii Krajobrazu PAEK,  
2004, Kielce, s. 235 – 241,  
ISBN 83-919881-8-X

## **Rola biowskaźników w monitoringu zanieczyszczeń środowiska i rekultywacji terenów przemysłowych**

### **Wprowadzenie**

Bioindykacja czyli określanie zmian w środowisku za pomocą szeroko pojętych wskaźników biologicznych jest jedną z podstawowych metod w monitoringu zanieczyszczenia i skażeń przemysłowych środowiska (Ellenberg 1974, Grodziński 1979, 1983, Grodziński, Yorks 1981, McCarthy i in. 1989).

Właściwości biowskaźnikowe mogą posiadać żywe układy znajdujące się na różnych poziomach organizacyjnych - począwszy od najniższych, subkomórkowych (przy badaniu cech biochemicznych i fizjologicznych), po krajobrazowe kiedy ocenie podlegają cechy przestrzenne (Steubing 1982, Richling, Solon 1995, Malzahn 1996). Ponieważ stosunkowo trudno jest ocenić stan środowiska przyrodniczego opierając się wyłącznie na metodach fizykochemicznych, dlatego w badaniach kompleksowych pomocne są obserwacje reakcji organizmów (lub populacji) na konkretny bodziec. Organizmy żywe są bowiem najbardziej miarodajnym źródłem informacji o zachodzących procesach - zarówno pozytywnych jak i negatywnych.

Podstawowa klasyfikacja bioindykatorów roślinnych i zwierzęcych oparta jest na relacji zachodzącej pomiędzy bodźcem, a wywołanym przez niego efektem (Grodziński, Yorks 1981, Knabe 1982). Dlatego też wyróżnia się:

- biomarkery - które reagują subkórkowymi zmianami biochemicznymi,
- biowskaźniki regulujące - które fizjonomiczne pokazują stopień uszkodzenia zależny od presji działającego czynnika,
- biowskaźniki akumulujące - które posiadają zdolność gromadzenia różnorodnych substancji we własnych tkankach,
- oraz biowskaźnikowe skale gatunkowe - sporządzane w zależności od stopnia tolerancji ekologicznej na określony czynnik czy substancje.

---

\* Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska, Instytut Geografii Akademia Świętokrzyska, 25-406 Kielce, ul. Świętokrzyska 15, e-mail: swierczag@poczta.onet.pl

Przytoczony podział jest bardzo ogólny, a konkretny bioindykator w zależności od bodźca (presji) może należeć do różnych kategorii.

### Indykacyjna funkcja roślin

Najprostszą formą indykacyjną jest stwierdzenie obecności lub braku stenotopowych populacji czy gatunków. Do roślin, które stosunkowo najwcześniej uznano za biowskaźniki należą porosty (De Wit 1983, Fabiszewski, Bielecki 1983, Kiszka 1990, Puckett 1988, Fałtynowicz 1995). Na podstawie rozmieszczenia przestrzennego wybranych, monitoringowych gatunków, można w nawiązaniu do skali bioindykacyjnej ocenić np. stopień zurbanizowania, antropizacji, poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego (Fabiszewski, Bielecki 1983). Analiza danych faktorycznych dotyczących występowania, rozmieszczenia, przebiegu granic progowych, obfitości i jakości stwierdzanych plech porostowych pozwala na wydzielenie stref lichenoidykacyjnych – od „pustyń” po obszary nie zmienione (Hawksworth, Rose 1970, Kiszka 1990, Fałtynowicz 1995, Kiszka, Kościelniak 1995).

Bioindykacja wykorzystuje zdolności organizmów do wewnątrzustrojowego akumulowania składników chemicznych - głównie metali ciężkich i związków fluoru. Rośliny jedno- i dwuliścienne nie wychwytyją tak łatwo zanieczyszczeń z powietrza jak mchy (Grodzińska 1983, Leonidius, Malm 1991). Wśród mszaków zaś, najbardziej przydatne do tego celu są mchy gałęziste - *Hylocomnium splendens*, *Hypnum cupressiforme*, *Entodon schreberi* (Kiszka 1990, Migaszewski 1998, Czarnowska, Gworek 1992, Kabata-Pendias, Pendias 1999). Znamienne jest, że wymienione gatunki charakterystyczne dla wielu zbiorowisk leśnych, ustępują z siedlisk nadmiernie wzbogaconych w antropogeniczne węglany. Ich miejsce w borach sosnowych zajmują kalcyfilne gatunki takie jak: *Abietinella abietina*, *Bryum argentum*, *Bryum caespiticium* które mogą być uważane za dobre indykatory alkalizacji powierzchniowych poziomów organicznych gleb bielicoziemnych (Świercz 1997).

Metale ciężkie, choć w mniejszym zakresie są również kumulowane przez rośliny naczyniowe. Zwykle ich poziom w tkankach jest dodatnio skorelowany z ogólną zawartością w glebie. Relacje te nie są jednak proste i zależą od czynników edaficznych podłoża oraz konstytucji ekologicznej gatunku (Kruckeberg 1967, Bradshaw, Hardwick 1989). Bylińska (1992) wyróżnia kilka gatunków o wybitnych zdolnościach do akumulacji jednego lub kilku pierwiastków jak np: *Arrhenatherum elatius* (Ni), *Caltha palustris*, *Dactylis glomerata* (Ag), *Betula pendula* (Pb, Zn, Ni, Mn, Cd, Co), *Vaccinium myrtillus* (Pb, Fe, Mn, Cd, Cr, Ag), *Tussillago farfara* (Pb, Cu, Fe, Ni, Al), *Salix caprea* (Zn, Mn, Cd, Co). Gatunki te można wykorzystywać jako bioindykatory (lito- i chemoindykatory) w prospekcji rud polimetalicznych.

Zawartość metali śladowych takich jak Zn, Cu, Pb, Ni, Cd w roślinach (igłach, liściach, organach podziemnych) jest miernikiem stanu zanieczyszczenia środowiska (Duda 1981, Lodenius, Malm 1991, Dmuchowski, Bytnerowicz 1995, Mannien, Huttunen 1995, Kabata-Pendias, Pendias 1999). Poprzez rośliny dochodzi też do włączania w obieg biologiczny wielu szkodliwych substancji potęgujących efekt degradacji. Ocena stopnia zaawansowania tego procesu powinna opierać się na opracowanych normach krytycznych zawartości metali ciężkich (Kabata - Pendias i in.

1993). Szczególnie przydatne są normy dotyczące koncentracji metali śladowych w roślinach użytkowych (chemo- i sanoindykacja) przeznaczonych do spożycia czy na paszę. Zbyt wysokie stężenia Pb, Cd, Zn (w mg/kg s.m.) dyskredytują ich wartość konsumpcyjną.

Rośliny wykształciły szereg mechanizmów obronnych przed nadmiernymi – często toksycznymi stężeniami metali ciężkich. Przede wszystkim odporność ta związana jest ze strategią tzw. „wykluczającą”, która polega na wyłączeniu nadmiaru wolnych jonów z metabolizmu komórki. Metale mogą być unieruchamiane w przestrzeniach międzyfibrilarnych ścian komórek, gromadzić się w pęcherzykach diktiosomalnych i wakuolach komórkowych lub być usuwane przez wakuole autofagowe (Wierzbička 1995). Rośliny dysponują również innymi mechanizmami obronnymi. Należy do nich konstytucjonalna lub indukowana tolerancja na zawartość metali ciężkich w podłożu. Zakres tolerancji gatunku na określony czynnik środowiskowy może zmieniać się w procesie doboru naturalnego lub (i) wraz ze wzrostem rośliny (z reguły wrażliwsze są stadia młodociane). Badania prowadzone na hałdach kopalni miedzi Drws y Coed w północnej Walii (Mac Nair 1981), wskazują, że w ciągu 50 lat populacje mietlicy *Agrostis tenuis* wykształciły genotypy odporne na skażenie gleb Cu, Zn, Pb. Proces powstawania ekotypów niewrażliwych na skażenie metalami ciężkimi dotyczy roślin, u których w pulach genowych istnieją geny odporności (Bradshaw, Hardwick 1989). Właśnie te rośliny wykształcające rasy edaficzne mogą być wykorzystywane w bioindykacji. Badania Kruckeberga (1967), wskazują, że introdukowane do USA gatunki *Prunella vulgaris* i *Rumex acetosella* wykształciły w ciągu 80 lat ekotypy tolerujące gleby serpentynowe. Siewki tych roślin dobrze rosną na jałowych glebach zasobnych w nikiel, chrom i mangan, obumierają zaś na siedliskach „nieserpentynowych”.

## Rośliny, a rekultywacja terenów przemysłowych

Preferencje środowiskowe roślin, zależne od wymagań gatunku powodują selekcję siedlisk. Każda zmiana warunków środowiska jest stresem powodującym wymianę gatunków lub zastępowanie ich przez inne. Wskutek działalności człowieka wiele siedlisk naturalnych zostało zniszczonych lub przekształconych, ale też powstało wiele nowych. Nowymi terenami nadającymi się do kolonizacji przez rośliny są zwały, wyrobiska, obszary przemysłowe. Roślinność wkraczająca na te tereny ma często zróżnicowane wymagania siedliskowe. Tereny zdegradowane kolonizują zarówno gatunki jałowych czy wilgotnych łąk po właściwe murawom kserotermicznym. Ta pozorną sprzeczność jest spowodowana tym, że nowopowstałe siedliska odznaczają się dużą zmiennością właściwości fizykochemicznych. Należą do nich między innymi:

- wysoka amplituda wahań wilgotności, eutroficzności,
- przypadkowość rozmieszczenia poszczególnych rodzajów skał na hałdach czy zwałowiskach (Greszta 1963, Siuta 1995, Świercz 1997).

Pionierskie badania prowadzone przez Gresztę (1963) nad rekultywacją zwałów węglowych, cynkowych i pohutniczych Częstochowskiego Okręgu Przemysłowego wskazują, że najmłodsze hałdy zajmowane są przez pionierskie gatunki z klasy *Rudero-Secalieta* (jak np. *Tussilaga farfara*, *Polygonatum aviculare*, *Calamagrostis epigeios*). W miarę upływu czasu na hałdy wkraczają gatunki o węższych spektrach ekologicznych

z klas: *Molinio-Arhenatheretea* (np. *Leontodon hispidus*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Taraxacum vulgare*, *Festuca rubra*), *Festuco-Brometea* (*Poa compressa*) oraz *Nardo-Calunetea*.

Roślinność synantropijna wycofuje się zwykle z chwilą ocienienia powierzchni zwałów przez korony drzew. Do najważniejszych gatunków drzew i krzewów wykazujących znaczny stopień tolerancji na stężenia metali ciężkich w podłożu należą: *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Robinia pseudoaccacia*, *Salix caprea*, *Salix aurita*, *Viburnum opulus*. Te gatunki zaleca się również jako wiodące w zagospodarowaniu zwałowisk przemysłowych.

Badania prowadzone wokół różnorodnych emitorów przemysłowych (od zakładów cementowo-wapienniczych, silnie alkalizujących siedliska, po zakłady przetwórcze siarki i azotu, zakwaszających, wyjaławiających gleby), wskazują jednoznacznie, że wśród roślinności odpornej na antropopresję dominują pionierskie, rodzime gatunki światłolubne, ekspansywne głównie ruderalne, murawowe i łąkowe (Schubert 1985, Rostański 1995, Świercz 1997).

## Zakończenie

Różnorodność zastosowań indyktorów biologicznych spowodowała wiele prób ich systematyki. Nowsza klasyfikacja opracowana przez Kostrowickiego, Roo-Zielińską, Solona (Richling, Solon 1996) wyróżnia i definiuje: autoindykatory, indykatory edaficzne, hydroindykatory, termoindykatory, litoindykatory, chemoindykatory, sanoindykatory oraz fitoindykatory krajobrazowe.

W tym zestawieniu na szczególną uwagę zasługuje złożona fitoindykacja geobotaniczna środowiska, w której indykatorem są wszystkie populacje roślinne tworzące określony ekosystem.

Jakkolwiek zagadnienia bioindykacji są przedmiotem zainteresowań botaników od kilkudziesięciu lat (Schubert 1985), to postępujące w skali globalnej skażenie środowiska sprawia, że ten zintegrowany kierunek nauki jest z powodzeniem rozwijany w ramach monitoringu geoekologicznego.

## Role of bioindexes in the monitoring of the environmental pollution and the cultivation of the previously industrialized al areas

### Summary

The living organisms are the major source of information about the processes taking place in the environment. In this paper we discuss the basis classification of the bioindexes based on the relation between cause and effect. With reference to literature and researches we show an indicative function of plants in the transformed ecosystems. The attention is drawn to some protective mechanisms in the plants growing in toxic conditions of heavy metals in soils and the use of some plant species to cultivate the degraded areas.

Rola bio wskaźników w monitoringu zanieczyszczeń środowiska i rekultywacji...

## Literatura

- Bylińska E. 1992, *Studia nad biogeochemią roślin z obszaru występowania złóż polimetalicznych w Rudawach Janowickich (Sudety)*, Acta Univ. Wratisl., Prace Bot.:50-71.
- Bradshaw A. D., Hardwick K. 1989, *Evolution and stress-genotypic and phenotypic components*, Biological Journal of the Linnean Society 37.:137-155.
- Czarnowska K., Gworek B. 1992, *Zawartość metali ciężkich w mchu Kampinoskiego Parku Narodowego*, Roczn. Glebozn. T.XLIII nr ½:51-59.
- De Wit T., 1983, *Lichenes as indicators for air quality*, Environ. Monit., Assess.3: 273-282.
- Dmuchański W., Bytnerowicz A. 1995, *Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analyses of Scots pine (Pinus sylvestris L.) needles*, Environm. Pollut., 87.: 87-104.
- Duda S. 1981, *Zawartość wybranych metali ciężkich w igliwiu sosny pospolitej (Pinus sylvestris) w rejonie oddziaływania emisji huty miedz.* Sylwan, 125.: 119-127.
- Ellenberg H. 1974, *Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropa*. Scr. Geobot., Gottingen.
- Fabiszewski J., Bielecki K. 1983, *Zastosowanie badań fotosyntezy, oddychania i zawartości barwników u transplantowanych porostów w ocenie skażeń środowiska. Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych*, PAN, Wrocław.: 107-118.
- Fałtynowicz W. 1995, *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza*, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno.
- Greszta J. 1963, *Charakterystyka gleboznawcza zwalów kopalnictwa rud żelaza oraz metody ich zagospodarowania*, Ochrona Przyrody 29, PWN Kraków.: 141-215.
- Grodzińska K. 1979, *Tree bark-sensitive biotest for environment acidification*, Environ. Intern.2.
- Grodzińska K. 1983, *Mchy i kora drzew jako czułe wskaźniki skażenia środowiska gazami i pyłami przemysłowymi. Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych*, PAN, Wrocław.: 67-86.
- Grodziński W. & Yorks T., P 1981, *Species and ecosystem level bioindicators of airborne pollution: an analysis of two major studies*, Water Air Soil Pollut., ss. 16.
- Hawksworth D. L., Rose F. 1970, *Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens*, Nature 227.: 145-148.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999, *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa. s 363.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak., Piotrowska M., Terelak H., Witek T. 1993, *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką*. Pom. wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy. s. 20.
- Kiszka J. 1990, *Lichenoidykcja obszaru województwa krakowskiego*, Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej 18.
- Kiszka J., Kościelniak R. 1995, *Porosty miasta Krakowa*. Mat. konf. i symp. 50 Zjazd PTB, Kraków.: 174.
- Knabe W. 1982, *Monitoring of air pollutants by wild life plants and plant exposure: Suitable bioindicators for different immissions types*, Task for vegetation science 7.
- Kruckeberg A.R. 1967, *Ecotypic response to ultramafic soils by some plant species of northwestern. U. S. Brittonia* 19.:133-151.
- Lodenius M., Malm J. 1991, *Influence of Acidification on Metal Uptake in Plants. Factors Affecting the Forest Declin*, 3, Pub. Dep. of Environ. Conservation, Univ. of Helsinki 15.: 48-56.
- Mac Nair M. R. 1981, *Tolerance of higher plants to toxic materials. In Genetic Consequence of Man-Made Change*, J. A. Bishop and L. M. Cook (eds). Academic Press, New York.: 177-207.
- Mannien S., Huttunen S. 1995, *Scots pine needles as bioindicators of sulphur deposition*, Can. J. For. Res., 25.: 1559-1569.
- Malzahn E. 1996, *Bioindykacja środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej*. [w:] Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, R. Siwecki (red). Sorus, Poznań.:4-86.

Rola biowskaźników w monitoringu zanieczyszczeń środowiska i rekultywacji...

---

- McCarthy J.F., Adams S. M., Jimenez B.D., Shugart L.R. 1989, *Environmental Monitoring of Biological Markers in Animals and Plants*, Air Pollution Effects on Vegetation.
- Migaszewski M. Z. 1998, *Metodyka badań geochemicznych gleb i biowskaźników roślinnych*. Przegl. Geol. 46 nr 2.: 159-163.
- Puckett K. J., 1988, *Bryophytes and lichens as monitors as metal deposition*. Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibl. Lichenol. 30.: 231-267.
- Richling A., Solon J. 1996, *Ekologia krajobrazu*, PWN, Warszawa, s. 311.
- Rostański A. 1995, *Rośliny naczyniowe terenów o wysokim stopniu skażenia metalami ciężkimi*, Mat. konf. i symp. 50 Zjazd PTB, Kraków.: 340.
- Schubert R. 1985, *Bioindication in terrestrischen Ökosystemen*, Gustav-Fischer-Verlag, Jena.
- Siuta J. 1995, *Gleba diagnozowanie stanu i zagrożenia*. Instytut Ochr. Środow. Warszawa. s.218.
- Steubing L. 1982, *Problems of bioindication and the necessity of standarization*, Task for vegetation science 7.
- Świercz A. 1997, *Wpływ emisji alkalicznej na gleby i bory sosnowe w Białym Zagłębiu*. PAN-Oddział w Krakowie, KTN, Kielce, s 205.
- Wierzbicka M. 1995, *Strategie obronne roślin przed metalami ciężkimi*. Mat. konf. i symp. 50 Zjazd PTB, Kraków: 438.