

Innowacje w naukach ścisłych

Przegląd aktualnej tematyki badawczej

Pod redakcją naukową

Łukasz Szalata

Jacek Dorskocz

Wydawnictwo Nauka i Biznes

2017

Redakcja naukowa:

Dr inż. Łukasz Szałata
Politechnika Wroclawska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Ekologii i
Zarządzania Ryzykiem Środowiskowym

Dr inż. Jacek Dorskocz

Fundacja Rozwoju Nauki i Biznesu w obszarze Nauk
Medycznych i Ścisłych
Legnicka 65, 54-206 Wrocław

Recenzenci naukowci i branżowi

dr hab. n. med. Beata Łabuz-Roszak
dr n. med. Barbara Rybus-Kalinowska
dr hab. inż. Vyacheslav Pisarev prof. PRz
mgr inż. Benedykt Bryłka
dr inż. Jacek Dorskocz
dr inż. Łukasz Szałata
dr inż. Marek Dorskocz
dr inż. Tomasz Janiczek

dr inż. Jacek Kujawski
dr inż. Monika Michalska
mgr inż. Anna Okniańska
dr inż. Anna Stanclik (Kozik)
mgr Sławomir Stępień
dr Anna Mempel-Śnieżyk
inż. Magdalena Tomaszewska
Prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Zwoździak

Projekt okładki:

inż. Justyna Klekot
Elementy grafiki na okładce pochodzą ze strony freepik.com.

Korekta:

mgr inż. Olga Stępień

Wydanie pod patronatem merytorycznym:

Fundacji Rozwoju Nauki i Biznesu w obszarze Nauk Medycznych i Ścisłych
Klastra Badań i Rozwoju oraz Innowacji
Klubu Innowacyjni Naukowcy

ISBN: 978-83-947095-6-3

Niniejsza publikacja zawiera zbiór tematycznych prac prezentowanych przez uczestników, podczas konferencji w roku 2017 we Wrocławiu: IV Ogólnopolska e-Konferencja Innowacyjnych Projektów Badawczych oraz konferencja Eco Innovation Summit – Innowacje dla ekologii. Zawarte w niniejszej publikacji artykuły zostały zamieszczone na odpowiedzialność ich autorów, którzy przesłali ich treści Organizatorom konferencji oraz zatwierdzili poprawki recenzentów i korektorów.



email: wydawnictwo@wnib.pl

www.wnib.pl

WYDAWNICTWO NAUKA I BIZNES Sp. z o. o., z siedzibą w Brzeziny ul. Chęcińska 169, Poczta: Morawica, Kod pocztowy: 26-026, zarejestrowana w Krajowym Rejestrze Sądowym pod numerem KRS: 0000654271, kapitał zakładowy 50 00,00zł w całości wniesiony, NIP: 6572927439, REGON: 366131514, strona internetowa: www.wnib.pl, Firma powstała jako start up Dolnośląskiego Akceleratora Technologii i Innowacji.

Spis treści

PRZEDMOWA	4
ROZDZIAŁ I	5
Przydatność termowizji w ocenie użytkowości sportowej psów.....	5
Dominika Gulda, Monika Lik.....	5
ROZDZIAŁ II	14
Temperatura odczuwalna w strumieniu instalacji nawiewnych.....	14
Ewelina Dec	14
ROZDZIAŁ III	28
Środowiskowe uwarunkowania zdrowia jako istotny problem zdrowia publicznego XXI wieku	28
Katarzyna Tomczyk, Grzegorz Dziubanek.....	28
ROZDZIAŁ IV	38
Narażenie na pestycydy jako czynnik ryzyka chorób neurodegeneracyjnych	38
Katarzyna Tomczyk, Beata Łabuz-Roszak	38
ROZDZIAŁ V	50
Rośliny naczyniowe jako bioindykatory stanu środowiska.	50
Elżbieta Pytlik, Antonina Kalinichenko	50
ROZDZIAŁ VI	63
Wykorzystanie submikrometrowej analizy degradacji tworzyw sztucznych jako metody badawczej o obniżonej materiało- i energochłonności.	63
Arkadiusz Lichocki, Angelika Piotrowiak, Andrzej Sikora	63
ROZDZIAŁ VII	78
BIO–GEL – a new type of organic fertilizer	78
Serhii Osypenko, Antonina Kalinichenko	78
ROZDZIAŁ VIII	96
Fotel rekreacyjny zasilany energią elektryczną z paneli PV	96
Paulina Wójcik, Arkadiusz Dyjakon	96
ROZDZIAŁ IX	109
Boosting the science: get rid of the wires	109
Anna Gorzkiewicz.....	109
ROZDZIAŁ X	121
Charakterystyka instalacji MBP w ujęciu potencjalnego oddziaływania na środowisko	121
Agata Piechocka	121

ROZDZIAŁ V

Rośliny naczyniowe jako bioindykatory stanu środowiska.

Elżbieta Pytlik, Antonina Kalinichenko

- (1) Koło Naukowe Biologów, Samodzielna Katedra Biosystematyki, Uniwersytet Opolski.
45-052 Opole, ul. Oleska 22
Email: elzbieta.pytlik@gmail.com
- (2) Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Opolski.
45-365 Opole ul. Dmowskiego 7-9.
Email: akalinichenko@uni.opole.pl

STRESZCZENIE

Dzięki coraz nowocześniejszym i powszechniej stosowanym metodom bioindykacji można dokonać precyzyjnej i stosunkowo wydajnej oceny stanu środowiska naturalnego oraz zmian w nim zachodzących.

Wymiernym sposobem monitoringu przyrody są obserwacje reakcji żywych organizmów. Badania przeprowadza się głównie z użyciem stenobiontów, czyli taksonów o małej tolerancji na zmienność warunków środowiska. Grupę roślin oraz zwierząt wykorzystywanych w badaniach bioindykacyjnych nazywa się wskaźnikowymi.

Bioindykacja znajduje zastosowanie w geologii poszukiwawczej do odnajdywania miejsc z możliwością pozyskania cennych kruszców oraz w ochronie środowiska do monitoringu stanu jego zanieczyszczenia.

Na podstawie rozmieszczenia przestrzennego wybranych, monitoringowych gatunków, można w nawiązaniu do skali bioindykacyjnej, ocenić czynniki takie jak stopień zurbanizowania, antropizacji, poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego czy stężenie wybranych metali w rzekach, a także korzystność warunków dla rozwoju makrobezkręgowców wodnych.

Przeprowadzone badania wykazały możliwość zastosowania makrofitów w ocenie zanieczyszczenia rzek oraz różnice między kumulacją metali ciężkich w roślinach jednoliściennych, a dwuliściennych.

ABSTRACT

With help of the increasingly common and modern methods of bioindication, it is possible to make a precise and relatively efficient assessment of the state of the environment and the change that occurs in the natural environment.

Measurable way of nature monitoring is to investigate the reactions of living organisms. The research is mainly carried out with the use of stenobionts- taxons with small tolerance for environmental variability. The group of plants and animals used in bioindications is called indicators.

Bioindication is used in geology researches (to find places with the possibility of occurrence precious ore) and in the protection of the environment (to monitor its pollution).

Based on the spatial layout of the selected species, it is possible to assess factors such as urbanization, anthropisation, atmospheric air pollution or the concentration of selected metals in rivers, as well as the favorable conditions for the development of macro-aquatic invertebrates.

Researches have shown the use of macrophytes in the assessment of river pollution and the differences between the accumulation of heavy metals in monocotyledonous and dicotyledonous plants.

Słowa kluczowe: bioindykacja, rośliny wskaźnikowe, zanieczyszczenia, stan środowiska naturalnego, Atomowa Spektrometria Absorpcyjna

Keywords: bioindication, indicator plants, contamination, environment quality, Atomic Absorption Spectrometry

1. WSTĘP

Bioindykacja to metoda oceny stanu środowiska naturalnego oraz zmian w nim zachodzących na podstawie obserwacji reakcji żywych organizmów, głównie stenobiontów, do których w dużej mierze należą rośliny wskaźnikowe. Bioindykacja ma swoje zastosowanie w geologii poszukiwawczej, gdzie pomaga w wykrywaniu niektórych kruszców, oraz przede wszystkim w ochronie środowiska jako monitor stanu jego zanieczyszczenia. Na podstawie rozmieszczenia przestrzennego wybranych, monitoringowych gatunków, można w nawiązaniu do skali bioindykacyjnej ocenić np. stopień zurbanizowania, antropizacji i poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. [1]

2. TREŚĆ WŁAŚCIWA

Gatunki wskaźnikowe, inaczej bioindykatory, charakteryzuje wąski zakres tolerancji względem niewielkiej liczby czynników ograniczających. Obserwacja biowskaźników pozwala na przeprowadzenie testu dla siedliska: ich obecność w środowisku świadczy o występowaniu lub deficycie badanego czynnika. Bioindykatory powinny cechować kosmopolityczność, aby zapewnić uniwersalność metody, konieczne jest dobre poznanie wymagań siedliskowych, mała zmienność genetyczna przy stosunkowo długim cyklu życiowym i liczności populacji w miejscu występowania oraz łatwość w oznaczaniu. Wśród bioindykatorów duże znaczenie mają gatunki stenotopowe, wyspecjalizowane do życia w konkretnym siedlisku. Szczególnie dogodnymi bioindykatorami są rośliny wyższe (naczyniowe) ponieważ są duże, łatwo widoczne i rozpoznawalne oraz pozostające na miejscu przez całe swoje życie. W ocenie zanieczyszczeń wody, rośliny wyższe są wykorzystywane rzadziej niż glony: zgodnie z danymi literaturowymi, jedynie w przypadku 7% spośród 528 przeprowadzonych testów wykorzystano rośliny naczyniowe. [2] Do badania zanieczyszczeń powietrza, największe zastosowanie mają porosty.

Zmiany zachodzące pod wpływem czynników toksycznych na poziomie ekosystemu ujawniają się po dłuższym czasie ekspozycji. Poprzedzane są jednak przez zmiany na niższych poziomach organizacji biologicznej, takich jak zmiany biochemiczne lub fizjologiczne określane mianem biomarkerów [3] Bioindykatory możemy dzielić na biomarkery reagujące zmianami biochemicznymi, biowskaźniki regulujące, na które wpływ ma fizjologiczny stopień uszkodzeń, biowskaźniki akumulujące (gromadzące toksyny w swoich tkankach) oraz biowskaźnikowe skale gatunkowe zależne od stopnia tolerancji ekologicznej na badany czynnik lub substancję.

Znaczne niebezpieczeństwo dla zdrowia człowieka wynika z powszechnego skażenia substancjami powstającymi na drodze syntezy z ropy naftowej (np. polichlorowanymi bifenyłami, PCB) lub produktami ich termicznej obróbki, obejmującymi np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Do substancji szczególnie niebezpiecznych należą związki metali. Problem z obecnością nadmiernego stężenia jonów metali w środowisku polega na tym, że w przeciwieństwie do skażeń organicznych, są one trudniejsze do zdegradowania. W odniesieniu do potrzeb żywieniowych roślin pierwiastki metaliczne obejmują zarówno pierwiastki stanowiące niezbędne makro- (Ca, Mg) i mikroelementy (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Ni), jak i pierwiastki balastowe (Pb, Cd, Hg). Badania ekotoksykologiczne wykazują w roślinach obecność pierwiastków śladowych służących do budowy tkanek oraz biorących udział w przemianach metabolicznych. Zawartość metali uzależniona jest od badanego gatunku rośliny, okresu jej wegetacji oraz części morfologicznej poddanej

obserwacji [4], a także czynników edaficznych podłoża [5]. Molibden czy kobalt są istotną składową enzymów molibdenowych wspomagających asymilację azotu atmosferycznego, miedź wchodzi w skład łańcucha oddechowego, mangan stanowi centrum aktywne wielu enzymów, a żelazo wspomaga syntezę chlorofilu. Pierwiastki te mogą mieć zarówno pochodzenie naturalne, wynikające z wietrzenia skał macierzystych i erupcji wulkanów, jak i mogą być pochodzenia antropogenicznego, co jest groźniejsze w skutkach.

Metale ciężkie najłatwiej wnikają do rośliny pod postacią wolnych jonów, rzadziej jako kompleksy mobilizowane substancjami aktywnymi wydzielanymi przez korzenie roślin. W organizmie, do którego się dostaną niosą szereg szkód, do których zaliczyć można zaburzenia funkcjonowania błon komórkowych, inaktywację enzymów metabolizmu podstawowego, zahamowanie wzrostu, fotosyntezy oraz oddychania [6]. Wszystkie te czynniki mają wpływ na zmiany zewnętrzne u roślin, w tym chlorozę, zmianę barwy liści na skutek ograniczenia dynamiki produkcji chlorofilu oraz nekrozy powstające na skutek obumierania tkanek asymilacyjnych. Rośliny wykształciły wiele mechanizmów utrudniających metalom ciężkim przedostawanie się do ich tkanek, np. poprzez redukcję pobierania, unieruchamianie jonów w ścianach komórkowych, wydzielanie śluzu, a nawet mikoryzę. Dodatkową formą ochrony jest chelatowanie zanieczyszczeń przez peptydy: fitochelatyny produkowane przez enzym syntetazę fitochelatynową (transpeptydazę dipeptydu g-glutamylcysteiny ulegającą aktywacji na skutek wnikania do komórki jonów metali ciężkich, wśród których najsilniejszym induktorem jest kadm) oraz metalotioneiny gromadzące szkodliwe substancje w wodniczce, gdzie te następnie zostaną związane z fenolami oraz glikozydami. Jony metali przedostają się do cytoplazmy, gdzie znajdują się transportery o wysokim stopniu powinowatości. Związki chelatujące oraz chaperony tworzą kompleksy, których los następnie przebiega dwojako: są one natychmiast transportowane do organelli lub zostają w cytoplazmie, gdzie przechodzą szereg procesów metabolicznych. Związki chelatujące przeprowadzają zatem detoksykację metali poprzez buforowanie ich stężeń w cytozolu.

Polutanty glebowe znajdujące się w roztworze wodnym, są pobierane przez roślinę korzeniami, rzadziej blaszkami liściowymi [7], dla takich metali jak ołów, cynk oraz rtęć wykazano możliwość dostawania się także poprzez łodygę [6]. Największe ilości substancji toksycznych magazynowane są w korzeniach, kolejne są odpowiednio: liście, łodygi, kwiaty oraz nasiona [7]. Rośliny wykształciły mechanizmy zapobiegające migracji metali do wyższych organów roślinnych. Bariera ta tworzona jest przez ściany komórkowe poszczególnych tkanek budujących korzeń. Rośliny pobierają wodę oraz rozpuszczone w niej substancje włośnikami. Następnie związki transportem apoplastowym dostają się do tkanek poprzez plazmodesmy. Transport tego rodzaju wymusza na wodzie przejście do

endodermy, zaopatrzonej w pasemka Caspary`ego (charakterystyczne zgrubienia ścian komórkowych zaopatrzone w związki suberynopodobne). W przypadku metali ciężkich i innych zanieczyszczeń pobieranych przez rośliny wyższe, blokuje to transport wody, co wymusza jej przejście do perycyklu i kontynuację podróży transportem symplastowym i tym samym detoksykację pobranego roztworu [6]

Głównym magazynem związków toksycznych w komórce jest wakuola, a do organelli uczestniczących w ich eliminowaniu i oczyszczaniu rośliny należą aparat Golgiego i retikulum endoplazmatyczne. Metale mogą być unieruchamiane w przestrzeniach międzyfibrylarnych ścian komórek, gromadzić się w pęcherzykach diktyosomalnych i wakuolach komórkowych lub być usuwane przez wakuole autofagowe [8].

Istnieją pewne rośliny (*metalofity*) charakteryzujące się dużą odpornością na obecność metali ciężkich, a nawet zdolnością do gromadzenia metali w swoich tkankach (tzw. „hiperakumulatory”). Jeżeli wykazują one dodatkowo wysoki przyrost masy w krótkim czasie, szybki transport metali z korzeni do części nadziemnych, mogą być wykorzystywane do fitoremediacji – metody oczyszczania środowiska z zanieczyszczeń *in situ* lub do bioekstrakcji – techniki pozyskiwania rzadkich lub cennych pierwiastków za pomocą akumulacji ich w tkankach żywych organizmów. Wyróżnić można liczne gatunki o wysokich zdolnościach akumulacji jednego lub kilku pierwiastków, np. rajgras wyniosły *Arrhenatherum elatius* (Ni), knieć błotna *Caltha palustris*, kupkówka pospolita *Dactylis glomerata* (Ag), brzoza brodawkowata *Betula pendula* (Pb, Zn, Ni, Mn, Cd, Co), borówka czarna *Vaccinium myrtillus* (Pb, Fe, Mn, Cd, Cr, Ag), podbiał pospolity *Tussilago farfara* (Pb, Cu, Fe, Ni, Al), wierzba iwa *Salix caprea* (Zn, Mn, Cd, Co), co może znajdować swoje zastosowanie w geologii poszukiwawczej [9].

Najwcześniej za bioindykatory uznano porosty, czyli grzyby żyjące w symbiozie z cyjanobakteriami lub zielenicami. Na podstawie rozmieszczenia przestrzennego wybranych, monitoringowych gatunków, można w nawiązaniu do skali bioindykacyjnej ocenić np. stopień zurbanizowania, antropizacji, poziom zanieczyszczenia powietrza. Analiza danych faktycznych dotyczących występowania, rozmieszczenia, przebiegu granic progowych, obfitości i jakości stwierdzanych plech porostowych pozwala na wydzielenie stref lichenindykacyjnych – od „pustyń” po obszary nie zmienione. O przydatności porostów podczas biomonitoringu świadczy ich odporność na wiele zanieczyszczeń kumulowanych w strukturze organizmu: porosty wykazują próg graniczny, co znajduje swoje zastosowanie w tworzeniu skał porostowych. Pozyskanie próbek porostów nie jest trudne, są także łatwe do transportu i przechowywania. [10]

Wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza są także rośliny iglaste. Stan igliwia jest w pewnym sensie wskaźnikiem poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Dobrymi wskaźnikami stanu środowiska są rośliny wieloletnie. Do badań bioindykacyjnych wykorzystywane są rośliny uprawne (szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza tlenkami siarki). [11]

Rośliny występujące na danym podłożu mogą świadczyć o odczynie gleby. Do wskaźników gleb o niskim pH należą między innymi borówka czernica *Vaccinium myrtillus*, skrzyp polny *Equisetum arvense*, szczaw polny *Rumex acetosella*, wrzos zwyczajny *Calluna vulgaris* oraz rośliny z rodzaju fiołków *Viola*. Występowanie babki zwyczajnej *Plantago major*, gorzycy polnej *Sinapis arvensis*, jasnoty białej *Lamium album*, maku polnego *Papaver rhoeas*, tobołków polnych *Thlaspi arvense* świadczy z kolei o zasadowym odczynie gleby. Tasznik pospolity *Capsella bursa-pastoris* czy przetacznik ożankowy *Veronica chamaedrys* możemy spotkać na glebach obojętnych.

Roślinami wskaźnikowymi stanowisk podmokłych są: jaskier rozłogowy *Ranunculus repens*, knieć błotna *Caltha palustris*, kozłek lekarski *Valeriana officinalis*, miotła zbożowa *Apera spica-venti*, niezapominajka polna *Myosotis arvensis*, wiechlina błotna *Poa palustris*. Macierzanka piaskowa *Thymus serpyllum*, mak piaskowy *Papaver argemone*, babka lancetowata *Plantago lanceolata* i wilczomlecz sosnka *Euphorbia cyparissias* będą wskazywały na środowisko ubogie w wodę.

Stanowisko o dobrych warunkach termicznych zasobne będzie w goździka kartuzka *Dianthus carthusianorum*, miłka wiosennego *Adonis vernalis*. Kminek zwyczajny *Carum carvi* i skrzyp błotny *Equisetum palustre* są roślinami świadczącymi o małym nasłonecznieniu siedliska.

Obecność roślin w badanym środowisku może świadczyć także o zasobności gleby w pierwiastki niezbędne do prawidłowego wzrostu organizmu. Przykładowe gatunki zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wskaźniki zawartości wybranych pierwiastków w glebie.

Pierwiastek	Gatunki gleb bogatych	Gatunki gleb ubogich
wapń	Gorczyca polna <i>Sinapis arvensis</i>	Chaber bławatek <i>Centaurea cyanus</i>
	Groszek bulwiasty <i>Lathyrus tuberosus</i>	Czerwiec roczny <i>Scleranthus annuus</i>
	Mak polny <i>Papaver rhoeas</i>	Rumianek pospolity <i>Matricaria chamomilla</i>
	Miłek wiosenny <i>Adonis vernalis</i>	Szczaw polny <i>Rumex acetosella</i>
	Szałwia łąkowa <i>Salvia pratensis</i>	
azot	Pokrzywa zwyczajna <i>Urtica dioica</i>	Fiołek wonny <i>Viola odorata</i>
	Gwiazdnica pospolita <i>Stellaria media</i>	
	Perz właściwy <i>Elymus repens</i>	
	Jasnota biała <i>Lamium album</i>	
	Wiechlina roczna <i>Poa annua</i>	
	Żywokost lekarski <i>Symphytum officinale</i>	
fosfor	Koniczyna biała <i>Trifolium repens</i>	Tomka wonna <i>Anthoxanthum odoratum</i>

Zasobność gleby w próchnicę sygnalizowana będzie poprzez obecność np. przytulii wonnej *Galium odoratum*. O odwrotnej sytuacji świadczyć będzie prosięcznik gładki *Hypochaeris glabra*.

Szczaw polny *Rumex acetosella*, złocień polny *Chrysanthemum segetum*, przymiotno kanadyjskie *Conyza canadensis*, turzyca piaszkowa *Carex-arenaria* rosną na glebach

piaszczystych. Na glebie gliniastej stwierdzić można obecność podbiału pospolitego *Tussilago farfara*, szalwii łąkowej *Salvia pratensis* czy gorczycy polnej *Sinapis arvensis*. O obecności ilów świadczą jaskier rozłogowy *Ranuncullus repens*, glistnik jaskółcze ziele *Chelidonium majus*, ostróżeczka polna *Delphinium consolida*, pięciornik gęsi *Potentilla anserina*. [12, 13, 14]

O złym stanie środowiska świadczyć może wygląd zewnętrzny roślin: na terenach skażonych w Walii zaobserwowano zmniejszanie się organów roślinnych, np. u tomki wonnej

Metale ciężkie są najbardziej uciążliwymi i szeroko badanymi zanieczyszczeniami przenoszonymi w systemie rzeczonym. Wśród składników szczególnie zanieczyszczonych wymienić można osady denne akumulujące duże ilości związków, a także będące miejscem przemian chemicznych, w tym rozkładu toksycznych substancji. [15] Monitoring jakości środowiska wodnego może odbywać się poprzez kontrolę flory przybrzeżnej oraz wodnej, przy czym do tej drugiej zaliczyć można rośliny zakorzenione o liściach i kwiatach zanurzonych w wodzie, jak i te, których liście lub kwiaty swobodnie unoszą się na lustrze wody.

Dla sprawdzenia możliwości wykorzystania makrofitów w badaniach zanieczyszczenia wód (oraz gleb) wykorzystano próby składające się z dwóch roślin dwuliściennych oraz jednej jednoliściennej. Materiał roślinny oczyszczono z zanieczyszczeń mechanicznych. Próbkę roślin wysuszono w temperaturze 105° do uzyskania suchej masy. Reprezentatywne próbki materiału biologicznego o masie 0,400 g s.m. mineralizowano w mieszaninie kwasu azotowego (V) oraz kwasu solnego w stosunku 1:3 w temperaturze 190° w mineralizatorze mikrofalowym Speedway Four firmy Bergof, DE. Roztwory niezbędne w procesie sporządzono stosując odczynniki firmy MERCK. Metale ciężkie w mineralizowanych próbkach roślin oznaczono metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej przy użyciu aparatu iCE 3500 firmy Thermo Electron Corporation (USA).

Zapewnienie i kontrola jakości

Poniżej przedstawiono granice wykrywalności oraz granice oznaczalności metali ciężkich charakteryzujące spektrometr. Do kalibrowania aparatu użyto wzorców firmy ANALYTIKA Ltd. Wartości największych stężeń wzorców użytych do kalibracji (2,0 mg/dm³ dla Cd, 5,0 mg/dm³ dla Cu, Zn, Ni i Pb, 7,5 mg/dm³ dla Mn i 10 mg/dm³ dla Fe) przyjęto za granicę liniowej zależności sygnału od stężenia.

W tabeli 2 przedstawiono granice wykrywalności oraz granice oznaczalności charakterystyczne dla spektrometru iCE 3500.

Tabela 2. Granice wykrywalności (IDL) oraz granice oznaczalności (IQL) charakteryzujące spektrometr iCE 3500 [mg/dm³] [16].

<i>Metal</i>	<i>IDL</i>	<i>IQL</i>
Mn	0,0016	0,020
Fe	0,0043	0,050
Ni	0,0043	0,050
Cu	0,0045	0,033
Zn	0,0033	0,010
Cd	0,0028	0,013
Pb	0,130	0,070

W tabeli 3 przedstawiono stężenia metali ciężkich oznaczone w certyfikowanych materiałach referencyjnych BCR–414 *plankton* i BCR–482 *lichen*, wytwarzanych przez *Institute for Reference Materials and Measurements, Belgia*.

Tabela 3. Porównanie zmierzonych i certyfikowanych wartości stężeń analitów w BCR – 414 *plankton* i BCR – 482 *lichen*

Metal	BCR – 414 <i>plankton</i>		AAS		Dev, **
	Stężenie	±Niepewność	Średnia	±SD*	
	[mg/kg s.m.]				
Mn	299	12	284	13	-5,0
Fe	1,85	0,19	1,79	0,20	-3,2
Ni	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	29,5	1,3	28,4	1,6	-3,7
Zn	112	3	107	3	-4,5
Cd	0,383	0,014	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	3,97	0,19	3,75	0,21	-5,5
Metal	BCR – 482 <i>lichen</i>		AAS		Dev, **
	Stężenie	±Niepewność	Średnia	±SD*	
	[mg/kg s.m.]				
Mn	33,0	0,5	31,7	0,68	-3,9
Fe	804	160	n.d.	n.d.	n.d.
Ni	2,47	0,07	2,16	0,32	-13
Cu	7,03	0,19	6,63	0,17	-5,7
Zn	100,6	2,2	95,1	2,3	-5,5
Cd	0,56	0,02	0,53	0,03	-5,3
Pb	40,9	1,4	38,2	1,0	-6,6

*- odchylenie standardowe

** - względna różnica pomiędzy stężeniem zmierzonym i certyfikowanym $100\% \cdot (c_z - c_c)/c_c$

n.d. – nie oznaczono.

Wyniki przeprowadzonej analizy współczynnika biokoncentracji sugerują, że rzęśl hakowata *Callitriche hamulata* oraz rzęśl wiosenna *Callitriche verna* intensywnie kumulują metale takie jak: miedź, ołów, kadm, cynk, mangan oraz żelazo, a w średnim stopniu akumulują nikiel. Manna mielec *Glyceria maxima* wykazała bardzo wysoki stopień biokoncentracji manganu, w średnim stopniu kumuluje miedź, kadm, cynk oraz żelaza, a w słabym ołów.

Szeregi koncentracji kształtują się następująco:

Cu, Pb, Zn, Mn, Fe: manna mielec < rzęśl hakowata < rzęśl wiosenna

Ni: rzęśl wiosenna < rzęśl hakowata

Cd: manna mielec < rzęśl wiosenna < rzęśl hakowata.

3. WNIOSKI

Podsumowując, rośliny naczyniowe, glony oraz porosty mogą dostarczać cennych informacji o stanie środowiska. Dzięki odpowiednim badaniom monitoringowym możemy w dość precyzyjny sposób określić czynniki takie jak występowanie na danym terenie konkretnych pierwiastków, stopień nasłonecznienia, zawartość gleby w próchnicę, rodzaj, wilgotność i odczyn gleby, a także występowanie zanieczyszczeń powietrza czy wód.

Wyznaczenie współczynnika fitokoncentracji pozwoliło na wyznaczenie różnic w zdolnościach akumulacyjnych badanych gatunków roślin: badane pierwiastki w najmniejszych ilościach kumulowały się w mannie mielec, a przeważnie w największej w rzęśl hakowatej. Badana roślina jednoliścienna wykazała małe zdolności do biokoncentracji metali ciężkich. Zdecydowanie wyższe wartości stwierdzono w przypadku roślin dwuliściennych. Niestety badana próba była zbyt mała, by móc stwierdzić, czy zależność jest prawidłowa. Sugeruje to konieczność dalszych badań w tym kierunku, mających na celu ustalenie zależności między zdolnością do pobierania metali, a pozycją taksonomiczną rośliny.

LITERATURA

- [1] Fabiszewski J., Bielecki K., Zastosowanie badań fotosyntezy, oddychania i zawartości barwników u transplantowanych porostów w ocenie skażeń środowiska, 1983, Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych, PAN, Wrocław, 107-118.
- [2] Bielińska M., Nałęcz- Jawecki G., *Zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego lekami i ocena toksyczności trzech fluorochinolonów dla rzęsy drobnej Lemna minor*, 2009, Biuletyn Wydziału Farmaceutycznego WUM, 2009, 4, 24-30.
- [3] Malzahn E., *Bioindykacja środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej*, 1996, *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*, R. Siwecki (red). Sorus, Poznań, 4-86.
- [4] Łaszewska A., Kowol J., Wiechuła D., Kwapuliński J., *Kumulacja metali w wybranych gatunkach roślin leczniczych z terenu Beskidu Śląskiego i Beskidu Żywieckiego*, 2007, Problemy Ekologii 11(6), 285-291.
- [5] Bradshaw A. D., Hardwick K., *Evolution and stress-genotypic and phenotypic components*, 1989, Biological Journal of the Linnean Society 37, 137-155
- [6] Kopcewicz J., *Podstawy biologii roślin*, 2012, PWN, Warszawa.
- [7] Ociepa- Kubicka A., Ociepa E., *Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi*, 2012, Inż. Ochr. Środow. 15(2), 169-180
- [8] Wierzbicka M., *Strategie obronne roślin przed metalami ciężkimi*, 1995, Mat. konf. i symp. 50 Zjazd PTB, Kraków, 438.
- [9] Bylińska E., *Studia nad biogeochemią roślin z obszaru występowania złóż polimetalicznych w Rudawach Janowickich (Sudety)*, 1992, Acta Univ. Wratisl., Prace Bot., 50-71.
- [10] Kłós A., Rajfur M., Ciesielczuk T., Waclawek M., Waclawek W., *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia obszarów leśnych metalami ciężkimi*, 2008, Ecological Chemistry and Engineering, 15 (1).
- [11] www.bioindykacja.pl/bioindykacja/bioindykatory/rosliny-naczyniowe/ [Dostęp: 13.04.2017]
- [12] Zarzycki K., Trzcicka- Tacik H., Różański W. i in., *Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski*, 2002, W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Science, Kraków.
- [13] agromaniak.com/pl/262/drukuj-artykul.html [Dostęp: 13.04.2017]
- [14] zb.eco.pl/inne/zielen/4.htm [Dostęp: 13.04.2017]
- [15] Skorbilowicz E., *Rośliny wodne jako bioindykatory skażenia metalami ciężkimi rzeki Górnej Narwi i jej niektórych dopływów*, 2008, 367-376.

[16] *Instrukcja obsługi aparatu iCE 3000 firmy Thermo Scientific, Spectro-Lab, Warszawa 2013.*