

BIOINDYKACJA

Wykorzystanie organizmów w ocenie jakości środowiska

Bioindykacją nazywamy ogół metod oceny stanu środowiska, głównie poziomu zanieczyszczeń, polegających na badaniach reakcji organizmów żywych (**stenobiontów, organizmów wskaźnikowych**) na zmiany.

Biowskaźniki są wykorzystywane do oceny zanieczyszczenia:

- wód, np.: fito- i zooplankton, małe ryby;
- gleby: różne gatunki i części roślin: np. korzenie i liście;
- atmosfery, np.: kora, igły i liście drzew, grzyby, mchy i porosty.

Bioindykatorem jest organizm lub grupa organizmów, także złożona z różnych gatunków, których mierzalne funkcje życiowe są ściśle powiązane ze zmieniającymi się parametrami środowiska.

W węższym znaczeniu bioindykatorami są organizmy, które wyraźnie reagują na antropogeniczne przekształcenia środowiska ekologicznego.

Podstawowa klasyfikacja bioindykatorów roślinnych i zwierzęcych oparta jest na relacji zachodzącej pomiędzy bodźcem, a wywołanym przez niego efektem:

- **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,
- **biowskaźnikowe skale gatunkowe** - sporządzane w zależności od stopnia tolerancji ekologicznej na określony czynnik czy substancje.

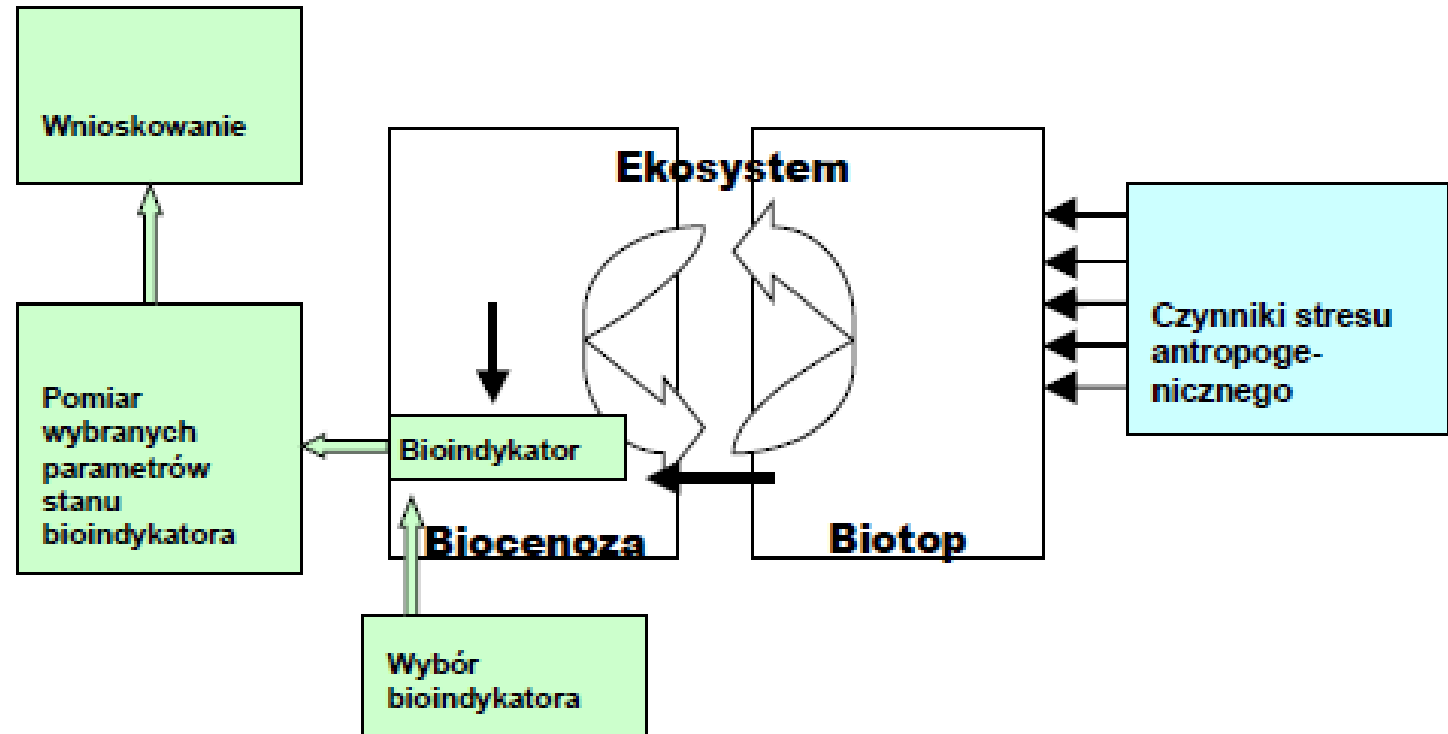
Cechy organizmów wskaźnikowych (bioindykatorów)

- dobrze rozpoznany, wąski i specyficzny zakres wymagań ekologicznych,
- występowanie w różnych środowiskach ekologicznych,
- liczne występowanie,
- znaczna długowieczność lub występowanie szeregu nakładających się pokoleń,
- łatwość identyfikacji gatunkowej,
- dobrze poznana biologia i ekologia.

Można wyróżnić trzy główne schematy bioindykacji:

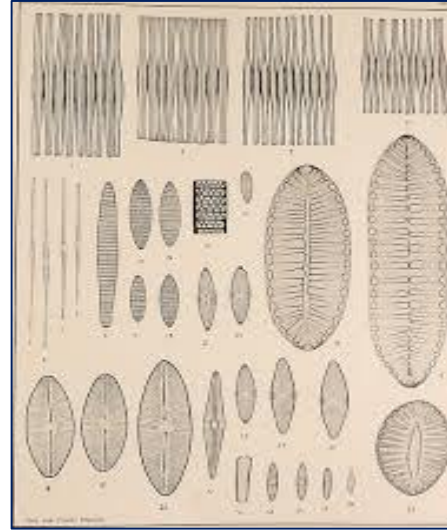
- bioindykacja przeprowadzona bezpośrednio w środowisku naturalnym (*in situ*); bioindykację dla wyższych poziomów organizacji ekologicznej można przeprowadzać wyłącznie *in situ*.
- bioindykacja poprzez wprowadzenie do ekosystemu sztucznego układu kolonizowanego przez organizmy,
- bioindykacja przeprowadzona poza środowiskiem naturalnym (*ex situ*).

- Kompleks czynników stresu antropogenicznego oddziałuje na biotop powodując w nim określone zmiany modyfikujące, w pierwszym rzędzie strukturę biocenozy, która zwrótnie oddziałuje na biotop.
- Kluczowym etapem bioindykacji jest wybór bioindykatora, który będzie adekwatnie i syntetycznie odzwierciedlał stan biocenozy i biotopu.
- Kolejnym etapem jest pomiar właściwych parametrów stanu bioindykatora i wnioskowanie na podstawie tych parametrów o stanie całego układu.

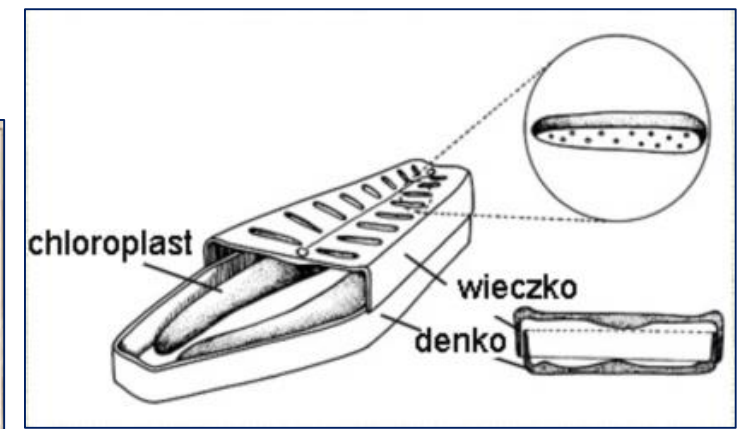


Indeks okrzemkowy

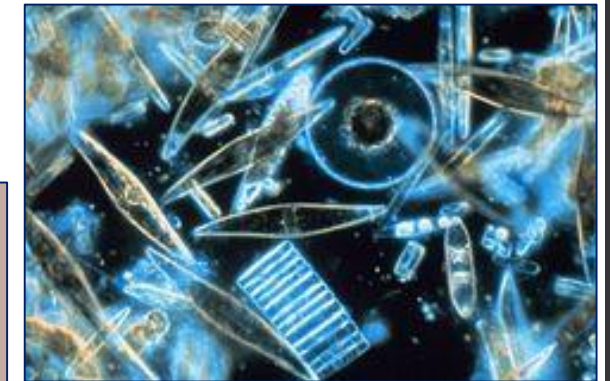
- Okrzemki są najczęściej wykorzystywaną grupą glonów do oceny jakości wód.
- Wykorzystywana jest wrażliwość okrzemek na trofię środowiska oraz skład gatunkowy i występowanie taksonów referencyjnych, a w przypadku rzek również wrażliwością na intensywność procesów rozkładu zachodzących w badanym środowisku.
- Określenie trofii na podstawie indeksu okrzemkowego pozwala na zakwalifikowanie badanego cieku czy też jeziora do jednego z 26 typów.



<https://pl.wikipedia.org>



<http://www.kurkiewicz-family.com>



Ugrupowania okrzemek – uznawane są za bardzo dobre organizmy wskaźnikowe ze względu na:

- (1) naturalnie wysoką liczbę gatunków;
- (2) szybką odpowiedź w czasie na zakłócenia, ale tym samym wysoki potencjał odbudowy biotycznej;
- (3) dużą łatwość pobierania prób;
- (4) zakres tolerancji lub wrażliwość na określone zmiany warunków środowiska – dla wielu gatunków okrzemek są one dobrze zdefiniowane

Makrofitowy Indeks Rzeczny **MIR** i Makrofitowy Indeks Stanu Ekologicznego **ESMI** dla jezior

Zasada metod polega na jakościowym i ilościowym pomiarze roślinności zasiedlającej jednolite części wód.

W indeksie MIR uwzględnia się gatunki wskaźnikowe roślin występujących i oznaczanych na określonych stanowiskach badawczych

W indeksie ESMIR bierze się pod uwagę te gatunki roślin, które tworzą charakterystyczne zbiorowiska w postaci płatów o powierzchni $\geq 1\text{m}^2$



- Są doskonałymi wskaźnikami stanu wód, ponieważ są:
- **(1) organizmami, które wyraźnie reagują na koncentracje** pierwiastków biogennych, światło, mętność wody, zmiany poziomu wody, zasolenie, skażenia toksyczne (metale ciężkie, herbicydy),
- **(2) organizmami silnie integrującymi różnorodne uwarunkowania środowiskowe,** np. wpływ pierwiastków biogennych, składu gleby, wód gruntowych, zasolenia.

Metoda klasyfikacji wód rzek na podstawie analizy zespołu makrobezkręgowców bentosowych

Pomiar polega na jakościowym i ilościowym określeniu organizmów bentosowych występujących w próbkach osadów dennych rzek

BENTOS - ZESPÓŁ ORGANIZMÓW ZWIERZĘCYCH ZWIĄZANYCH Z DNEM ŚRODOWISK SŁODKOWODNYCH, ZARÓWNO ZBIORNIKÓW WODNYCH JAK I CIEKÓW ORAZ ŚRODOWISK MORSKICH, W TYM TAKŻE ZWIĄZANYCH Z ROZMAITYMI STRUKTURAMI OBECNYMI NA DNIE, A WIĘC ROŚLINAMI (FAUNA NAROŚLINNA), GLONAMI, KAMIENIAMI (FAUNA NAKAMIENNA)

- żyją w wodzie przez cały lub przez większość ich cyklu życiowego,
- zasiedlają siedliska rzeczne optymalne dla ich przetrwania, a ich występowanie nie jest limitowane zmianami sezonowymi (makrofity, glony),
- mają ograniczoną mobilność w środowisku wodnym
- mają dłuższe niż rok cykle życiowe, dogodne do badań autekologicznych,
- mają różny zakres tolerancji w stosunku do różnego typu skażenia i jego intensywności,
- są najlepszymi biologicznymi „integratorami” warunków środowiskowych,
- łatwość pobrania próbek makrobentosu z różnych siedlisk rzecznych za pomocą prostego i taniego sprzętu,
- identyfikacja materiału biologicznego w warunkach laboratoryjnych nie jest trudna.



Larwy w domkach



Owad dorosły

Chruściki (*Trichoptera*) – rząd owadów wodnych przeobrażeniu zupełnym. Są stosunkowo niewielkich rozmiarów, od 2 mm do 4–5 cm.

Chruściki przechodzą rozwój z przeobrażeniem zupełnym. W cyklu życiowym występuje jajo, kilka stadiów larwalnych, poczwarka i owad doskonały – imago.

Larwy chruścików budują różnorodne konstrukcje: norcki, sieci łowne, domki, przenośne domki.

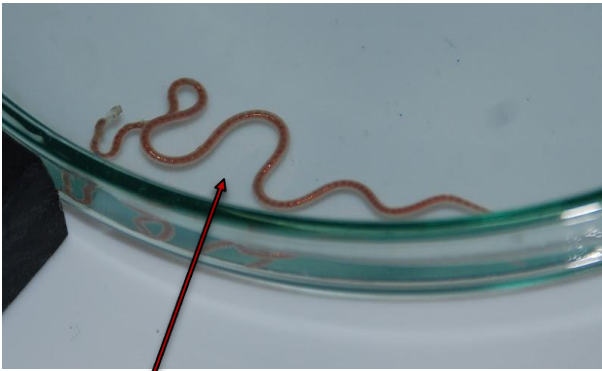


Płoszczyce - owady z rzędu pluskwiaków różnoskrzydłych należący do rodziny Drapieżnik. Kijanki, małe rybki, bezkręgowce wodne. Chowa się wśród roślinności, blisko lustra wody i czatuje z rozwartymi przednimi odnóżami na swoje ofiary. Płoszczyca zamieszkuje zbiorniki wodne wszelkich typów, zarówno wody stojące jak i bieżące. Potocznie nazywana jest "skorpionem wodnym".



Larwa muchówki

Muchówki, dwuskrzydłe (*Diptera*) – rząd owadów. Charakteryzuje się jedną parą skrzydeł. Larwy wodnej wodno-błotne żyją w różnych typach wód – często w bentosie wód stojących i przybrzeżnej strefy cieków. Także na torfowiskach. Niektóre gatunki znoszą zanieczyszczenie wód



Rureczniki – grupa małych i średniej wielkości, kosmopolitycznych pierścienic o czerwonawo ubarwionym, wydłużonym ciele, zaliczanych do skąposzczetów

Rodzina rureczników obejmuje kilkaset gatunków, wśród których niektóre są gatunkami kluczowymi dla bentosowych zespołów wód słodkich i mórz. Zasiedlają powierzchniową warstwę osadów dennych bogatych w materię organiczną.



Wyplawki - ciało szare, żółtawe, kremowe lub ciemne, nie jest segmentowane, grzbietowo brzusznie spłaszczone ze słabo wyodrębnioną głową. Na górnej stronie występuje para prostych oczu. Toleruje znacznie zanieczyszczone wody.



Larwy chrząszczy – pływakowate, toniaki, kałużnicowate, krętakowate i flisakowate



Widelnice (Plecoptera) – rząd owadów uskrzydłych o rozwoju z przeobrażeniem niezupełnym. **Larwy** żyją w wodzie o dużej zawartości tlenu, zasiedlają głównie wody płynące, szczególnie niewielkie potoki górskie i strumienie.

Larwy widelnic są wrażliwe na zanieczyszczenia, dlatego wykorzystywane są jako bioindykatory.



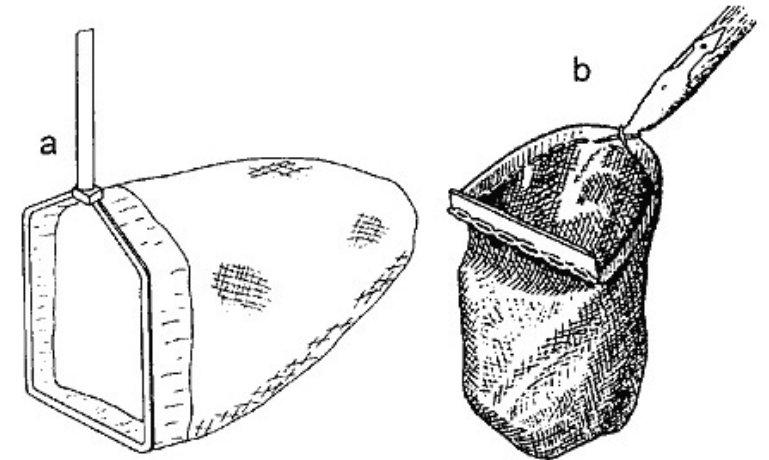
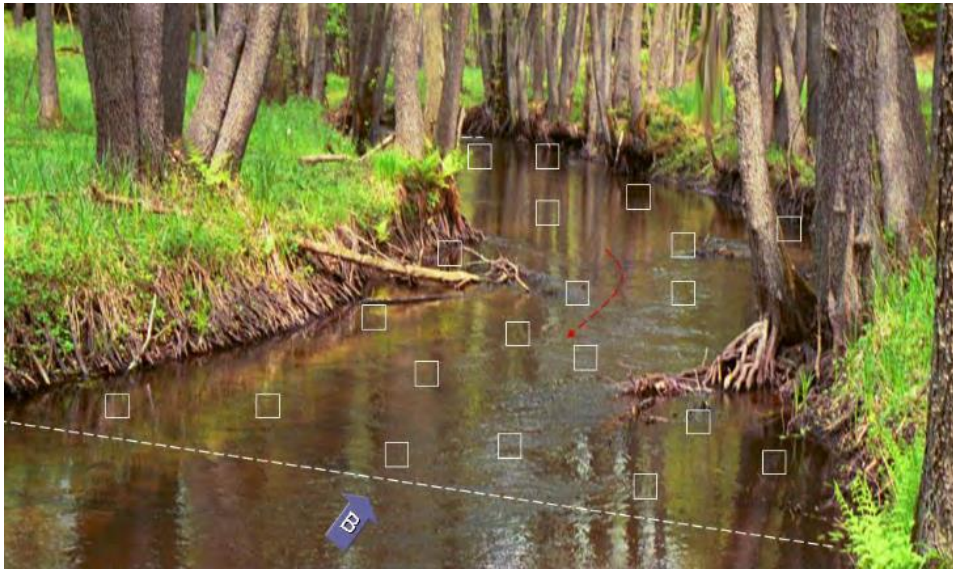
Jętki – rząd owadów uskrzydłych, długość ciała 3–40 mm, na ogół związanych ze środowiskiem wodnym. Okres życia larw może trwać nawet do kilku lat, postacie dorosłe żyją bardzo krótko, czasem jeden dzień. Niekiedy obserwowane są masowe wyloty jętek.

MIARY BIOLOGICZNE I EKOLOGICZNE STOSOWANE W OCENIE STANU EKOLOGICZNEGO RZEK

1. Miary strukturalne (**skład, liczebność**)—określające strukturę zespołów, zmiany w składzie poszczególnych grup oraz także liczbę taksonów różnych grup (np. całkowita liczba rodzin; liczba rodzin z rzędów EPT: *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*). Miary te są spójne z miarami różnorodności biologicznej.
2. Miary różnorodności biologicznej (**bogactwo i różnorodność**)—wskaźniki różnorodności zespołów bentofauny mierzące frekwencją i podstawowe indeksy różnorodności (Indeks Shannona, Indeks Pielou; patrz: Aneksy I-II), do tej grupy wliczane są miary podające liczbę gatunków/taksonów w obrębie określonej jednostki taksonomicznej.
3. Miary ekologiczne, dotyczące **wrażliwości na stres i tolerancji na zmiany środowiskowe** — wszystkie miary oceniające obecność lub brak taksonów wrażliwych, liczebność taksonów wskaźnikowych lub odpornych na stres, np. taksony wrażliwe oceniamy m.in. poprzez ASPT - Uśredniony Wskaźnik Jakości Wód (typ zakłóceń: zanieczyszczenie organiczne i nutrieny) oraz liczebność określonych rodzin z rzędów EPT i EPTD: *Ephemeroptera* – *Plecoptera* – *Trichoptera* – *Diptera* (typ zakłóceń: degradacja hydromorfologiczna).
4. Miary funkcjonalne —określające organizację funkcjonalną ugrupowań bezkręgowców wodnych (np. funkcjonalne grupy troficzne) oraz ich dokładne **preferencje siedliskowe**. W tym ostatnim zakresie ta grupa metryksów jest często łączona z innymi miarami ekologicznymi.

Pobór próbek bentosu

Powierzchnia poboru próbek cząstkowych powinna być równomiernie rozmieszczona w badanym odcinku rzeki, przy ścisłym przestrzeganiu zasady reprezentatywnego udziału określonych typów siedlisk rzecznych (powyżej 5% pokrycia dna) w całej pobieranej próbce makrobentosu. Pobór próbek cząstkowych przeprowadzany jest za pomocą siatki hydrobiologicznej (25 cm x 25 cm)..

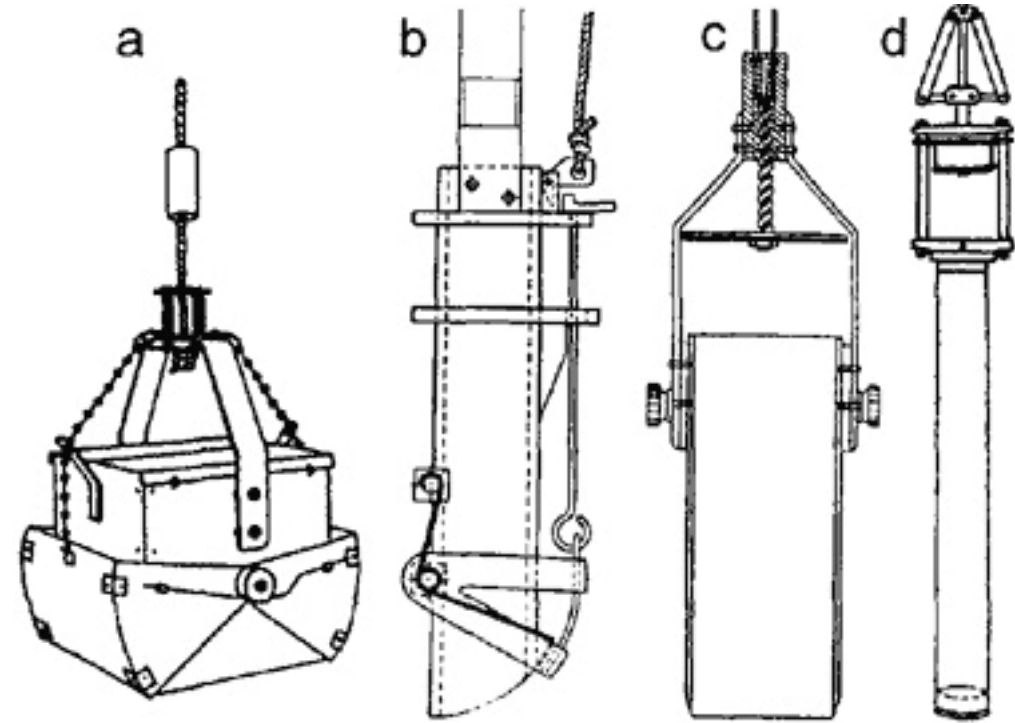


Przyrządy po pobierania jakościowych próbek makrofauny bezkręgowców (a - kasarek, b - kasarek ze skrobakiem)

- Badania przeprowadza się w okresie wiosennym, najczęściej w maju. Do oceny jakości wód przeprowadza się pobór próbek na odcinku ok. 100 m wzdłuż linii brzegowej, wybierając najbardziej typowe siedliska. Próbki pobierane są z dna i jego powierzchni. Pomiar polega na określeniu występujących w próbkach bezkręgowców.

Chwytnacz dna Ekmana-Birge'a

Znajduje zastosowanie przy pobieraniu próbek z podłoża drobnoziarnistego. Jest to metalowa skrzynka o krawędziach dolnych długości 15 cm i wysokości około 20 cm. Od dołu aparat zamykany jest półokrągłymi szczękami, które uruchamiane są silnymi sprężynami. Taka konstrukcja umożliwia pobranie wycinka dna o powierzchni 225 cm². Od góry urządzenie zamknięte jest metalowymi klapkami lub siatką, co zapobiega wypłukiwaniu pobranego materiału podczas wyciągania urządzenia na powierzchnię lub ucieczce organizmów



Przyrządy do pobierania ilościowych próbek makrofauny bezkręgowej:

- a) chwytnacz dna Ekmana-Birge'a;
- b) chwytnacz rurowy Szczepańskiego;
- c) Chwytnacz rurowy Morduchaja-Bołtowski;
- d) chwytnacz rurowy Kajaka

W metodzie uwzględnia się dwa kryteria:

wartość indeksu BMWP-PL

- wyznacza się oznaczając organizmy wykryte w próbkach do rodzin, a następnie sumuje punkty przypisane im według ściśle określonych standardów; na podstawie przyporządkowania uzyskanego indeksu do zakresów jakości wody, dokonuje się oceny jej jakości

Wartości indeksu BMWP – PL odpowiadające klasom czystości wód

Klasa czystości	Wartość indeksu BMWP - PL
I	powyżej 100
II	70 – 99
III	40 – 69
IV	10 – 39
V	poniżej 10

wartość indeksu bioróżnorodności

- do jego obliczenia stosuje się wzór:

$$d = s/\log N$$

- gdzie:
d – wskaźnik bioróżnorodności,
s – liczba rodzin występujących na stanowisku, N – całkowita liczebność fauny na badanym stanowisku (w przeliczeniu na 1 m²)

Wskaźnik bioróżnorodności

Zakres indeksu	Wartość indeksu d
I	>5,50
II	4,00 – 5.49
III	2,50 – 3.99
IV	1,00 – 2,49
V	<1

Ryby jako biologiczne wskaźniki jakości wód

Ryby są doskonałymi wskaźnikami stanu ekologicznego danego zbiornika wodnego, ponieważ:

- (1) żyją w środowisku wodnym przez cały swój cykl życiowy;
- (2) długość ich życia wynosi kilka lat;
- (3) różnią się wyraźnie zakresem tolerancji, co pozwala porównywać ich reakcję na różne typy zakłóceń środowiskowych;
- (4) są łatwe do złowienia
- (5) są proste do zidentyfikowania w terenie.
- (6) są bardzo dobrymi indykatorami długoterminowych zakłóceń wskaźnikami stanu ekologicznego ekosystemów wodnych w skali zlewni, w szczególności dotyczy to eko morfologicznych właściwości systemu (struktury siedlisk rzecznych i nadbrzeżnych, obecności refugium).

Uregulowane ciekі dają niewielkie szanse rozwoju i bytowania faunie i florze. Biocenoza ubożeje. Problemy związane z regulacją rzek dotyczą również niższych kręgowców jak ryby, a także bezkręgowców – bentofauny. Na uregulowanych stanowiskach w potoku Różanka, gdzie brakowało odpowiedniej ilości kryjówek złowiono tylko kilkanaście ryb (Tabela 1, 4). Górne biegi małych cieków z niezbyt silnym prądem są idealne dla śliza, lecz na uregulowanych odcinkach nie odnotowano tego stosunkowo odpornego na zmiany środowiska gatunki



Degradacja ichtiofauny małego potoku podgórskiego spowodowana przez regulację

Tabela 1. Kryjówki dla ryb.

Potencjalne kryjówki dla ryb	Stanowiska				
	1	2	3	4	5
korzenie drzew	+++	+++	-	-	-
przełębienia	+++	++	-	+	-
podmyte brzegi	+++	++	-	-	-
rozwidlenia nurtu	+++	+++	-	-	-
duże kamienie	+	+	-	-	-
trawy sięgające lustra wody	-	-	-	+++	-
makrofity zanurzone	-	-	-	-	-

(+ rzadkie; ++ średnio liczne; +++ liczne; - brak)



Tabela 4. Ichtyofauna potoku Różanka.

Gatunek	Stanowiska									
	Naturalne				Uregulowane					
	1		2		3		4		5	
	n	[g]	n	[g]	n	[g]	n	[g]	n	[g]
ukleja <i>A. alburnus</i>	67	772	12	159						
płoc <i>R. rutilus</i>	61	1651	15	367						
kielb krótkowąsy <i>G. gobio</i>	50	863	28	362	3	18	6	12	1	10
kleń <i>L. cephalus</i>	44	2352	25	1099	2	84				
jelec <i>L. leuciscus</i>	30	2239	32	1868						
strzebla potokowa <i>P. phoxinus</i>	13	64	12	21	5	9	1	2		
okoń <i>P. fluviatilis</i>	11	393	6	180						
śliz <i>B. barbatus</i>	8	88	2	7						
piekielnica <i>A. bipunctatus</i>	4	51	2	18						
pstrąg potokowy <i>S. trutta m. fario</i>	3	27	3	186						
boleń <i>A. aspius</i>	1	27								
RAZEM	292	8527	137	4267	10	11	7	12	1	10



Kielb krótkowąsy
(*Gobio gobio* L.)



Piekielnica
(*Alburnoides bipunctatus* L.)

Skala porostowa

Porosty posiadają ogromną różnorodność wymagań w stosunku do rodzaju podłoża, jego składu chemicznego, dostępu wody, nasłonecznienia itp. Powoduje to, że rosną one praktycznie wszędzie. Dzięki temu są one doskonałymi **bioindykatorami**, szczególnie przydatnymi do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Znając wymagania i tolerancję poszczególnych gatunków, na podstawie analizy flory porostów na danym terenie możemy wnioskować np. o średnim stężeniu SO₂ w powietrzu, czy też o zakwaszeniu podłoża przez kwaśne deszcze. Obserwacje porostów należą dziś do klasycznych metod określania stopnia zanieczyszczenia powietrza.

Budowa porostów

Grzyb dostarcza z podłoża, na którym rośnie, wodę wraz z solami mineralnymi oraz chroni glon przed wysychaniem (głównie z klasy workowców)



Glon z kolei, dzięki zdolności do fotosyntezy, produkuje substancje organiczne będące pokarmem dla obydwu roślin (najczęściej zielenic).



Porost
organizm powstały w wyniku
symbiozy
mutualistycznej

Symbioza mutualistyczna - symbioza obligatoryjna, związek ścisły i konieczny – rośliny motylkowe i bakterie brodawkowe wiążące azot, termity i wiciowce rozkładające celulozę, przeżuwacze i bakterie celulolityczne, glony i grzyby w porostach.

Rola porostów w środowisku

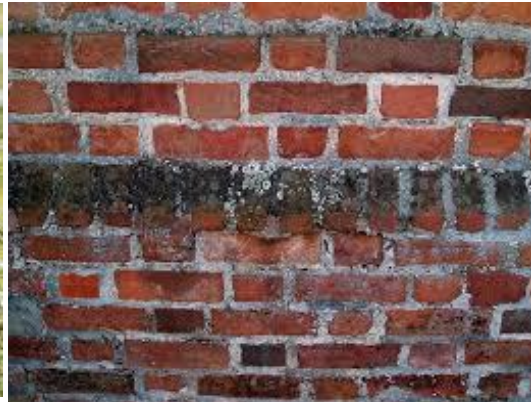
- biorą udział w retencji wody,
- stanowią schronienie i pokarm dla zwierząt, głównie drobnych bezkręgowców, ich wtórne metabolity chronią drzewa przed bakteriami i grzybami pasożytniczymi
- niektóre gatunki porostów, z fotobiontem z grupy cyjanobakterii (tzw. cyjanoporosty), uczestniczą w biogeochemicznym cyklu wiązania azotu atmosferycznego (cząsteczkowego). Ma to szczególne znaczenie w przypadku niektórych typów ekosystemów leśnych, takich jak np. ubogie lasy borealne półkuli północnej
- za najważniejszą rolę porostów w ekosystemie lasu należy uznać udział tych organizmów w obiegu wody; dzięki specyficznym właściwościom plech, porosty współuczestniczą w dużym stopniu w kształtowaniu typowego dla danej fitocenozy mikroklimatu

Główne czynniki odpowiedzialne za ubożenie różnorodności porostów w lasach:

- ❑ zmniejszanie powierzchni lasów,
- ❑ obniżanie wieku drzewostanów,
- ❑ uproszczenie struktury i wewnętrznego zróżnicowania naturalnych zbiorowisk,
- ❑ fragmentacja lasów
- ❑ izolacja lokalnych populacji gatunków

Podłoża wzrostowe porostów:

- kora drzew, krzewów (epifityczne);
- drewno (epiksyliczne);
- ziemia (epigeiczne);
- skały (epilityczne);
- płoty, mury domów



Porosty jako organizmy pionierskie

- Porosty mogą żyć w miejscach silnie nagrzewanych przez słońce, jak również w bardzo niskiej temperaturze. Mają one zdolność pobierania wilgoci z powietrza. Są bardzo wrażliwe na obecność tlenku siarki w powietrzu.
- Ze względu na kształt plechy porosty dzieli się na:
 - ✓ krzaczkowate (plecha bogato rozgałęziona),
 - ✓ liściaste (plecha płatowata),
 - ✓ skorupiaste (plecha ściśle przylegająca do podłoża)
 - ✓ nitkowata.
- Porosty charakteryzują się dużym zróżnicowaniem kolorystycznym ich plech: od bieli, szarości, poprzez żółć, pomarańcz, brąz, zielen i błękit aż do czerni.

Do głównych przyczyn dużej wrażliwości porostów na zanieczyszczenia atmosferyczne można zaliczyć:

- pobieranie wody całą powierzchnią plechy bezpośrednio z opadów atmosferycznych,
- brak tkanki okrywającej (stwarza to możliwość bezpośredniej infiltracji gazów, pyłów i roztworów do wnętrza plech),
- brak mechanizmów wydalania (zakumulowane zanieczyszczenia pozostają w plechach),
- małą zdolność przystosowania do zmieniających się warunków środowiska,
- niską tolerancję glonu na zanieczyszczenia,
- bardzo małą zawartość chlorofilu na jednostkę suchej masy ,
- utrzymywanie aktywnej przemiany materii również (zwłaszcza) w okresie zimy (dłuższy okres kumulowania zanieczyszczeń, wyższe wartości niektórych zanieczyszczeń – np. SO₂).

Strefa I – o szczególnie silnie zanieczyszczonym powietrzu (1 stopień skali biologicznej), skażenie powietrza przekracza $170 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, całkowity brak porostów nadrzewnych, jedynie obecność glonów, tzw. **bezwzględna pustynia porostowa**.

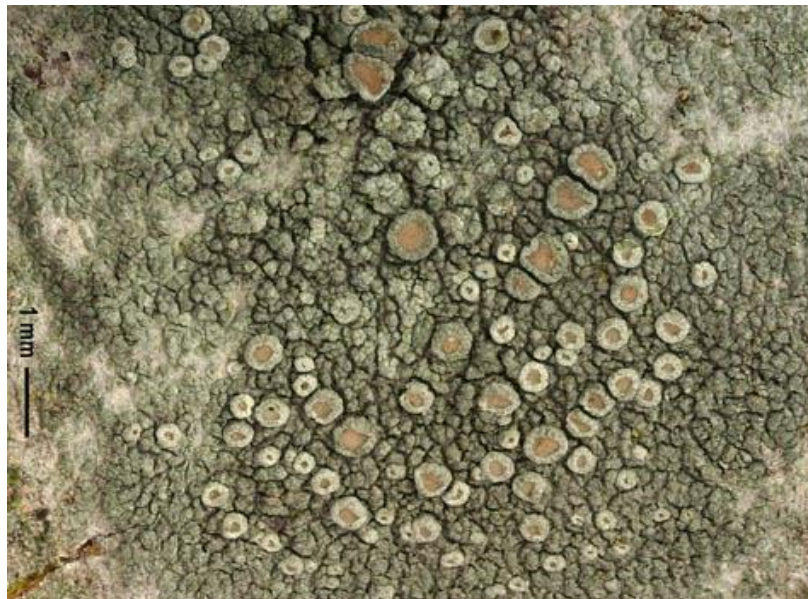


Pierwotek pokrywający
pień drzewa
(<https://pl.wikipedia.org>)

Strefa II – o bardzo silnie zanieczyszczonym powietrzu (2 i 3 stopień skali biologicznej), względna pustynia porostowa, skażenie powietrza 170-100 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, występują tylko najbardziej odporne na zanieczyszczenia porosty **skorupiaste i proszkowe** (*Physcia adscendens*, *Lecanora conizaeoides*). Miasta i obszary przemysłowe



Obrost wzniesiony
(*Physcia adscendens*)



Misecznica proszkowata
(*Lecanora conizaeoides*)

Strefa III – o silnie zanieczyszczonym powietrzu (4 stopień skali biologicznej), wewnętrzna strefa osłabionej wegetacji, skażenie powietrza 100- 70 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, w której poza gatunkami **skorupiastymi**, występują również porosty **łuseczkowate** (*Amandinea punctata*), a także porosty **listkowate** (*Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*). Tereny zadrzewione w obszarach podmiejskich;



Brudziec kropkowany
(*Amandinea punctata*)



Pustułka pęcherzykowata
(*Hypogymnia physodes*)

- **Strefa IV** – o średnio zanieczyszczonym powietrzu (5 stopień skali biologicznej), środkowa strefa osłabionej wegetacji, skażenie powietrza $70 - 50 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, występują **porosty listkowe** z udziałem **krzaczkowatych** (*Evernia prunastri*, *Physcia stellaris*). Lasy w pobliżu miast i obszarów przemysłowych;



Małkła tarniowa
(*Evernia prunastri*)



Obrost gwiazdkowaty
(*Physcia stellaris*)

Strefa V – o względnie mało zanieczyszczonym powietrzu (6 stopień skali biologicznej), zewnętrzna strefa osłabionej roślinności, skażenie powietrza 50 – 40 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, którą charakteryzuje obecność mniej wrażliwych na zanieczyszczenia porostów **krzaczkowatych** (*Pseudevernia furfuracea*) i gatunki z rodzaju *Remalina*. Większość dużych obszarów leśnych;



Mąklik otrębiasty
(*Pseudevernia furfuracea*)

Strefa VI – o nieznacznie zanieczyszczonym powietrzu (7 i 8 stopień skali biologicznej), wewnętrzna strefa normalnej roślinności, skażenie powietrza 40 – 30 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, występowanie wrażliwych gatunków skorupiastych, listkowatych i **krzaczkowatych** (*Usnea florida*, *Romalina fastigiata*). Naturalne rozległe kompleksy leśne w niektórych



Brodaczka nadobna
(*Usnea florida*)



Odnożyca kepkowa
(*Romalina fastigiata*)

Strefa VII – o powietrzu czystym lub ze znikomą zawartością zanieczyszczeń (9 i 10 stopień skali biologicznej), typowa strefa normalnej wegetacji, skażenie powietrza poniżej $30 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$. Strefę tę wyróżniają bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia gatunki z rodzajów *Lobaria*, *Nephroma*. Nieliczne obszary w Polsce.



Granicznik płucnik
(*Dermatodea pulmonaria*)



Pawężniczka (*Nephroma*)

Ptaki jako bioindykatory

Metody oceny stanu środowisk miejskich na podstawie składu gatunkowego, liczebności i cech ekologicznych awifauny:

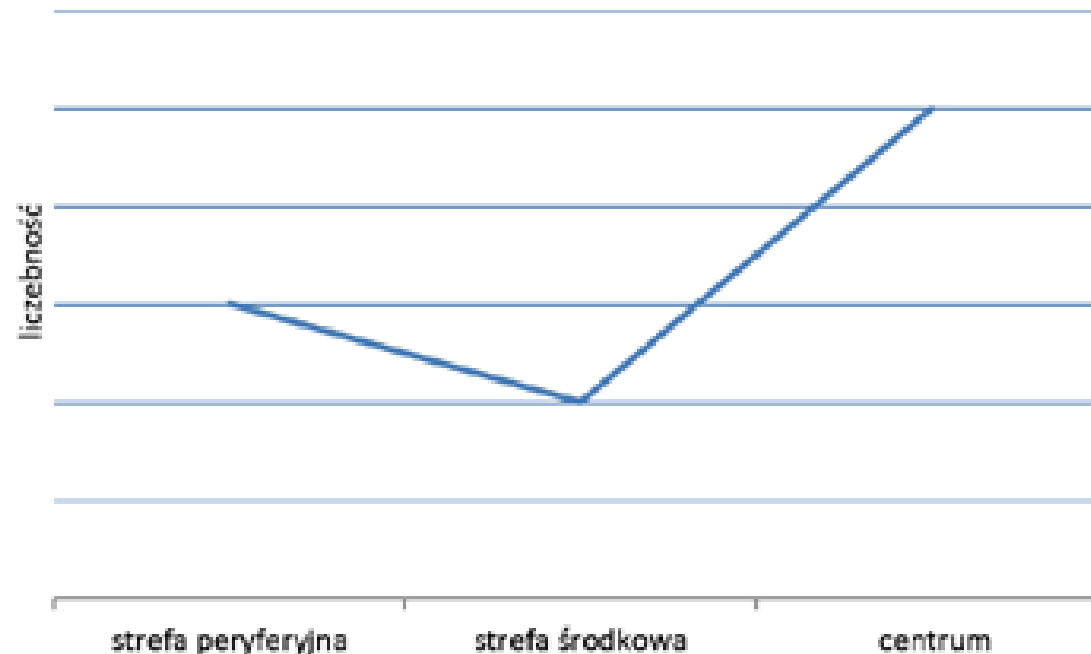
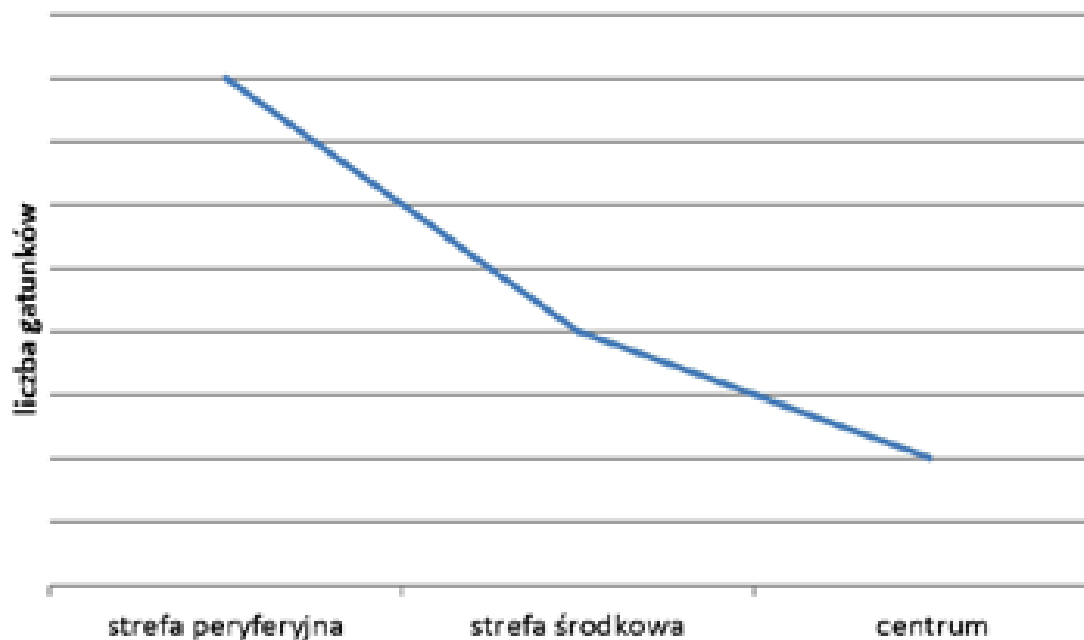
- 1) **Kombinowana odmiana metody kartograficznej** liczbę par lęgowych i jako zagęszczenie liczby par lęgowych/10 ha
- 2) **Metoda transektowa.** maksymalną liczbę osobników gatunku/500 m transektu/1 godz. z dwóch kontroli
- 3) **Metoda punktowa** zestawienie składu gatunkowego i ich liczebności, zagęszczenia biomasy, struktury dominacyjnej zespołu, wskaźnika różnorodności gatunkowej, wskaźnika synantropizacji

Heterogenność (niejednorodność) środowisk terenów zurbanizowanych i wynikające z tego nasilenie presji urbanizacyjnej warunkują dynamikę **składu gatunkowego i liczebności** awifauny oraz dynamikę ich cech ekologicznych



Te parametry populacji (**skład i liczebność**) są typem wskaźników reagujących na zmiany środowiska i mogą być wykorzystane w ocenie stanu środowiska miejskiego oraz kierunku jego zmian.

Model zmian składu gatunkowego i zagęszczenia awifauny w strefach nasilenia czynnika urbanizacyjnego



Zespół ptaków terenów zwartej zabudowy z małym udziałem zieleni charakteryzuje się zwykle ubogim składem gatunkowym, przy wysokiej liczebności gatunków związanych z budynkami; struktura dominacyjna tego zespołu wykazuje niski stopień zrównowżenia.

Natomiast w zespole środowiska leśnego o bogatym składzie gatunkowym i braku gatunków wyraźnie dominujących ilościowo, struktura dominacyjna wykazuje cechy zrównowżenia. Ogólny model zmian składu gatunkowego i zagęszczenia awifauny w trzech strefach nasilenia czynnika urbanizacyjnego przedstawiają rysunki.

Kolonizacja miast przez ptaki



Łyska zwyczajna (*Fulica atra*)

I. Kolonizacja niezależna - ptaki mogą wnikać do miast z terenów dzikich, naturalnych, położonych wokół nich, niezależnie w różnych regionach geograficznych.

II. Określone ośrodki miejskie mogą być kolonizowane przez ptaki pochodzące z innych miast. "Czyli w danym miejscu powstaje jedna, pierwotna populacja miejska, a potem ptaki, które są już doskonale przystosowane do życia w miastach, będą się skokowo przemieszczać na znaczne odległości i kolonizować nowe miasta

Wykazano duże zróżnicowanie genetyczne między ptakami miast, a populacjami dzikimi przyległymi do tych miast

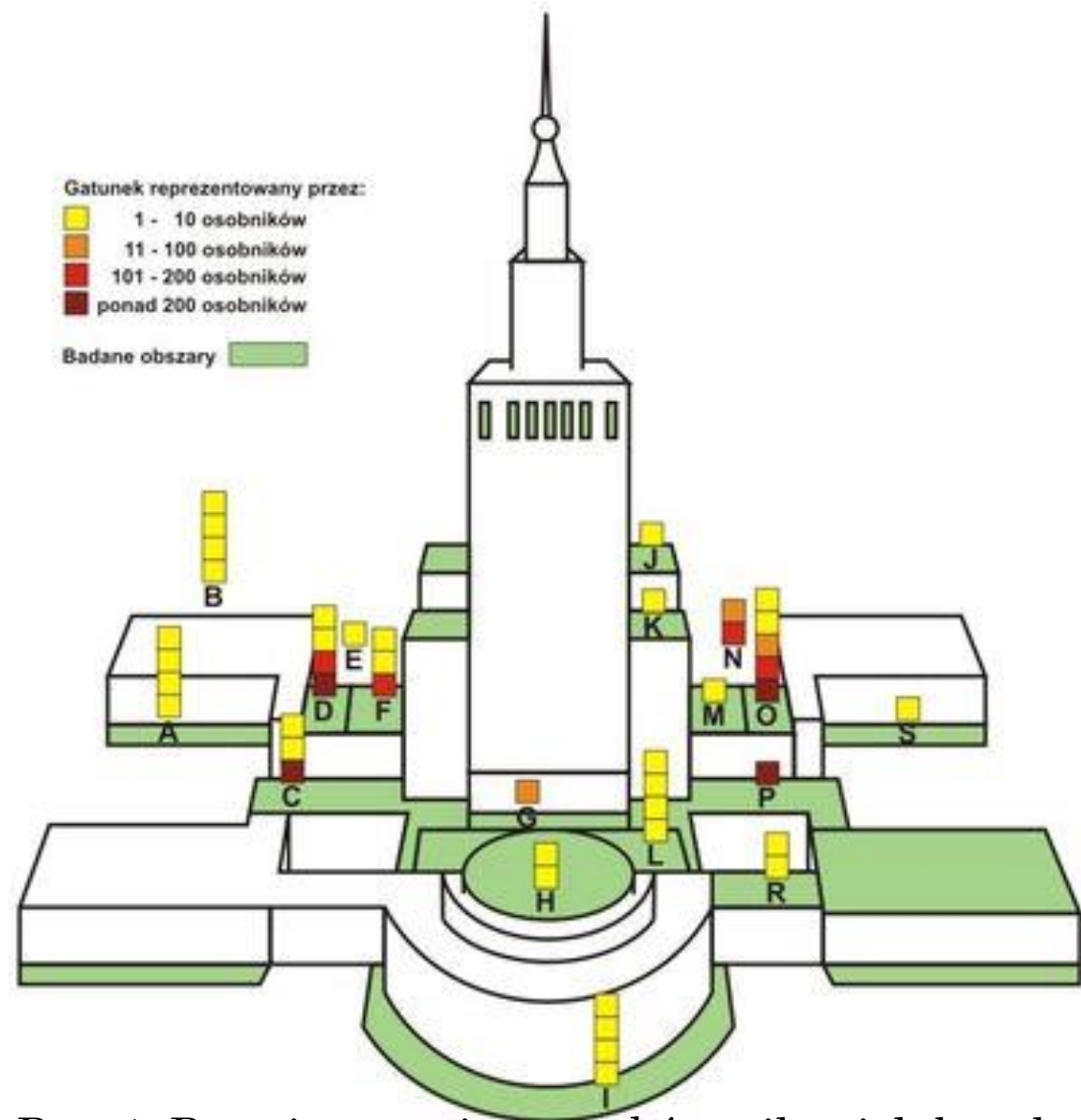
Z upływem czasu od kolonizacji danego miasta pojawiają się pewne bariery przepływu osobników, czy przepływu genów. Wówczas takie populacje zaczynają funkcjonować jako populacje miejskie, odrębne od populacji pozamiejskich

Zachęcam do przeczytania: <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C33443%2Cpolskie-badania-ptaki-kolonizujace-miasta-pochodza-z-terenow-wokol-nich.html>

- Metoda fitoindykacji z wykorzystaniem liczb wskaźnikowych Ellenberga umożliwiła dosyć szczegółową charakterystykę warunków siedliskowych .
- **Zachęcam do przeczytania artykułu na ten temat (plik dołączony do wykładu).**

W szczelinach między płytami pokrywającymi stropodachy Pałacu – stwierdzono aż 111 gatunków roślin naczyniowych!

- pojawiają się dość liczne rośliny wilgociolubne – takie, które są wskaźnikami gleb wilgotnych i mokrych,
- 1 roślina wodna znosząca czasowe wynurzenie (sit drobny *Juncus bulbosus*)
- na podstawie wyników badań dokładnie wskazano, które dachy mają niedrożne odpływy



Rys. 1. Rozmieszczenie gatunków wilgociolubnych (o wskaźnikowej liczbie wilgotności ≥ 7) na terenie PKiN

Komentarz do poprzedniego slajdu

- Obserwowano głównie osobniki młodociane, w tym również siewki drzew. Większość roślin wegetujących w tak trudnych warunkach siedliskowych obumierała w ciągu pierwszych miesięcy swego życia – tylko nieliczne gatunki były w stanie zakwitnąć i wydać owoce.
- Pojawiają się dość liczne rośliny wilgociolubne – takie, które są wskaźnikami gleb wilgotnych i mokrych, a nawet 1 roślina wodna znosząca czasowe wynurzenie (sit drobny *Juncus bulbosus*). 13 gatunków wilgociolubnych na dachu niektóre występowały bardzo obficie (np. rzepicha błotna *Rorippa palustris* była reprezentowana przez ponad 700 osobników!).
- Jak widać, rośliny wilgociolubne skupiły się na kilku stropodachach (powierzchnie C, D, F, N, O, P), rozmieszczonych na wysokości 20 i 29 m, od południa i północy budynku. Nie ma tu zatem znaczenia ani stopień zacielenia (ekspozycja słoneczna tych powierzchni była zróżnicowana), ani brak dostępu do wód gruntowych. Okazuje się, że ważnym czynnikiem kształtującym florę Pałacu jest banalne zjawisko: zapchane rynny odprowadzające z dachów wodę opadową! Niesprawny system odwadniający powoduje, że pod płytkami pokrywającymi dachy zalega miejscami woda. Na podstawie wyników badań mogłyśmy dokładnie wskazać, które dachy mają niedrożne odpływy i taką informację przekazałyśmy Administracji Pałacu Kultury i Nauki: trzeba koniecznie oczyścić rynny na dachach oznaczonych jako C, D, F, N, O, P.

Liczby wskaźnikowe w oznaczaniu terenów zalewowych

Rośliny gleb okresowo zalewanych wodą

- rzeżucha gorzka
Cardamine amara i
karbieniec pospolity
Lycopus europaeus

Wskaźniki silnych zmian wilgotności

- pępawa błotna *Crepis paludosa*, kuklik zwisty *Geum rivale*, tojeść rozesłana *Lysimachia vulgaris* i niezapominajka błotna *Myosotis palustris*

Gatunki gleb wilgotnych

- gwiazdnica gajowa *Stellaria nemorum* i czartawa drobna *Circaea alpina* – wilgotność



Olsza czarna *Alnus glutinosa*



Rzeżucha gorzka
Cardamine amara



Pępawa błotna
Crepis paludosa



Niezapominajka
błotna *Myosotis
palustris*



Gwiazdnica gajowa
Stellaria nemorum

Mszaki jako bioindykatory



Mszaki występują na wszystkich kontynentach i w każdej strefie klimatycznej – niektóre rosną w lasach tropikalnych, inne na pustyniach polarnych (np. na Antarktydzie – 125 gatunków)

Wykorzystanie mchów jako bioindykatorów ma tę istotną zaletę, że pozwala na monitorowanie zmian jakości powietrza w długiej perspektywie czasowej bardzo niskim kosztem. Umożliwia również obserwowanie wpływu tych zmian na stan środowiska.

Mchy gałęziste

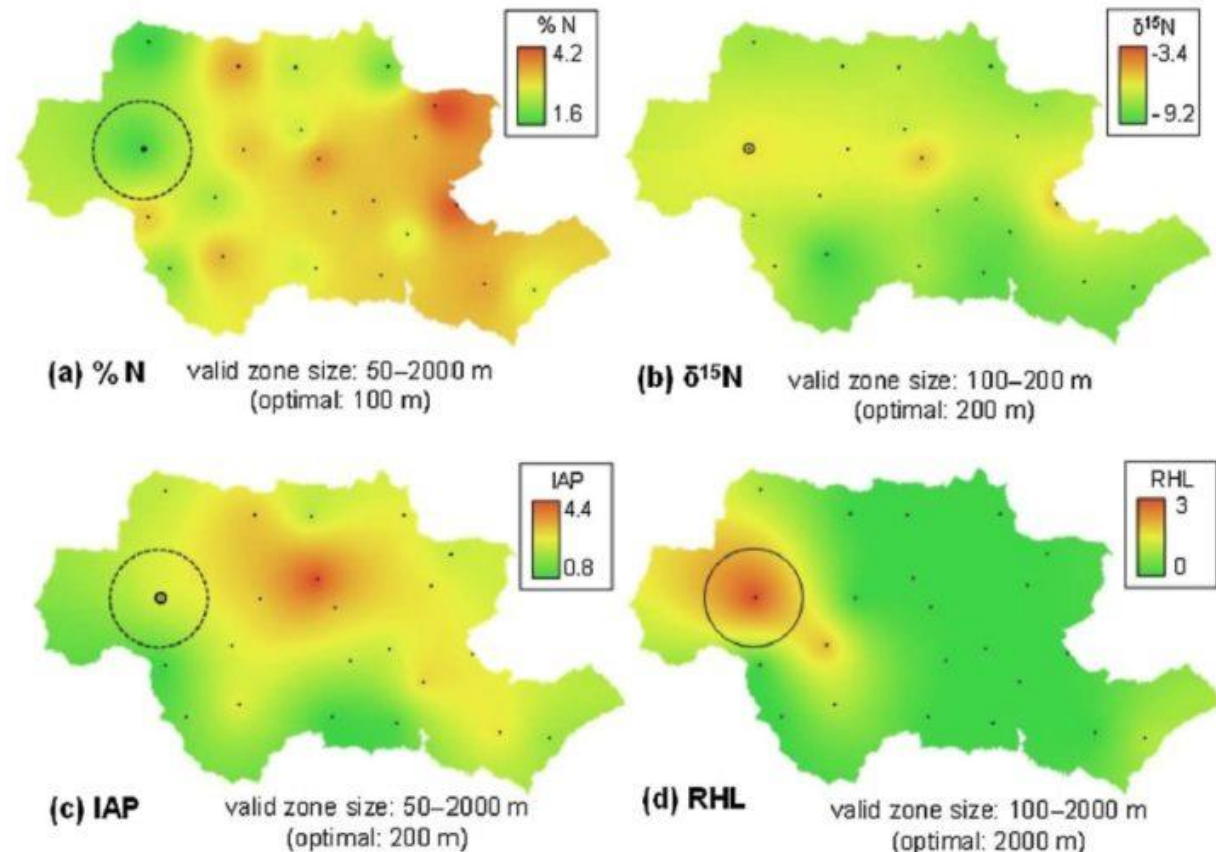


Hylocomnium splendens

Hypnum cupressiforme,

Bioindykacja wykorzystuje zdolności organizmów do wewnątrzustrojowego akumulowania składników chemicznych - głównie metali ciężkich i związków fluoru.

Wykorzystanie mchów jako bioindykatorów pozwala na monitorowanie zmian jakości powietrza w długiej perspektywie czasowej bardzo niskim kosztem i umożliwia obserwowanie wpływu tych zmian na stan środowiska.



Komentarz do slajdu poprzedniego

Mchy wykorzystywane są jako organizmy wskaźnikowe, pomagające w ocenie poziomu skażenia środowiska. Metoda opracowana przez japońskich naukowców pozwoli na wykorzystanie tych roślin w warunkach miejskich do monitorowania poziomu tlenków azotu.

Podobnie jak porosty, mchy są stosunkowo wrażliwe na skażenia atmosferyczne. Ze względu na brak epidermy rośliny te są bardziej narażone na szkodliwe działanie toksyn niż większość innych organizmów. A ponieważ wiele gatunków mchów przystosowało się do życia w warunkach zurbanizowanych, można wykorzystać je w ocenie jakości miejskiego powietrza.

Bioindykacyjny potencjał mchów postanowili zgłębić uczeni z dwóch japońskich uniwersytetów: Fukui Prefectural University i Hokkaido University. Posłużyli się w tym celu próbkami roślin zebranymi w Hachiōji, mieście w aglomeracji Tokio, które cechuje się zróżnicowanym środowiskiem: od terenów górskich po obszary wysoko zurbanizowane. Na podstawie analizy laboratoryjnej mchów uczeni sporządzili mapy przedstawiające geograficzny rozkład czterech wskaźników służących do oceny jakości powietrza: **stopień zanieczyszczenia powietrza azotem (wyrażony przez procentowy udział azotu w składzie powietrza), stężenie tlenków azotu w powietrzu, poziom czystości atmosferycznej (jego wyznacznikiem jest m.in. bioróżnorodność) oraz tzw. stres suszy – czyli deficyt wody, który towarzyszy urbanizacji.**