



Hanna Kruk

## PRZEGLĄD WYBRANYCH METOD OCENY BIORÓŻNORODNOŚCI

---

Hanna Kruk, dr – Akademia Morska w Gdyni

adres korespondencyjny:

Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa

ul. Morska 87, 81-225 Gdynia

e-mail: h.kruk@wpit.am.gdynia.pl

### REVIEW OF CHOSEN BIODIVERSITY ASSESSMENT METHODS

**SUMMARY:** Biodiversity is usually discussed on three levels: of genetics, of species and ecosystems. Biodiversity may be evaluated as an economic, biological, ethical or social good as well. One of main principles of the sustainable development is preserving biodiversity. To achieve this goal, biodiversity monitoring, evaluation and its protection are crucial. Biodiversity is not easy to assess in spite of many attempts. Usually the presence of chosen species, ecosystems (forest, field, water etc.), landscapes (in the case of regions) or protected areas including Natura 2000 (at national level) are used as indicators of biodiversity. According to the Eurostat, biodiversity is assessed by bioindicators such as: chosen birds, fish species and protected areas. Some other methods of biodiversity assessment are also used, from local level (biological site, like forests) to global one (for example indicators used by WWF). These methods are mainly qualitative, but some authors try to estimate costs of biodiversity loss or preservation. The main aim of the paper is an attempt to present chosen indicator methods and measures of biodiversity assessment (at different levels).

**KEY WORDS:** biodiversity, assessment, bioindicators, sustainable development

---

## Wstęp

Zachowanie różnorodności biologicznej oraz racjonalne wykorzystanie zasobów naturalnych i ograniczenie zanieczyszczenia środowiska to wybrane główne cele wymiaru ekologicznego koncepcji rozwoju zrównoważonego. Bioróżnorodność, rozumianą jako różnorodność genetyczną, gatunkową, ekosystemową, można rozpatrywać nie tylko w kategoriach przyrodniczych, ale i ekonomicznych – jako element kapitału naturalnego, wykorzystywanego w działalności gospodarczej i świadczącego odpowiednie usługi ekosystemowe. Problem zachowania bioróżnorodności jest nierozdzielnie związany z wykorzystaniem zasobów środowiska i jego zanieczyszczeniem. Utrata bioróżnorodności jest obecnie obserwowana zarówno na poziomie lokalnym, jak i regionalnym, krajowym i światowym, co staje się coraz większym problemem, również gospodarczym. Aby podjąć działania zmierzające do ochrony różnorodności biologicznej trzeba najpierw ją zmierzyć. W praktyce stosuje się różne metody szacowania bioróżnorodności, na różnych poziomach.

W artykule podjęto próbę dokonania przeglądu wybranych metod oceny bioróżnorodności na poziomie gatunkowym i ekosystemowym oraz przedstawiono niektóre metody oceny bioróżnorodności na poziomie krajowym, międzynarodowym i globalnym.

## Różnorodność biologiczna

Zgodnie z ustawą o ochronie przyrody, różnorodność biologiczna to „zróżnicowanie żywych organizmów występujących w ekosystemach, w obrębie gatunku i między gatunkami, oraz zróżnicowanie ekosystemów”<sup>1</sup>. Powyższa definicja stanowi uproszczenie tej, która została sformułowana w Konwencji o różnorodności biologicznej (ang. *Convention on Biological Diversity* – CBD), gdzie przyjęto, że bioróżnorodność to „zróżnicowanie wszystkich żywych organizmów pochodzących, między innymi, z ekosystemów lądowych, morskich i innych wodnych ekosystemów oraz zespołów ekologicznych, których są one częścią. Dotyczy to różnorodności w obrębie gatunku, pomiędzy gatunkami oraz ekosystemami”<sup>2</sup>. Natomiast w Programie środowiskowym ONZ (ang. *United Nations Environment Program* – UNEP) pojęcie to zostało zdefiniowane jako różnorodność genetyczna (pula genowa wszystkich żywych organizmów z uwzględnieniem zróżnicowania genów w obrębie danego gatunku), różnorodność gatunkowa (rozumiana jako liczba gatunków żyjących na świecie) oraz różnorodność ekosystemów (wszystkie

<sup>1</sup> Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (tekst ujednolicony, Dz.U. nr 92 poz. 880); art. 5, pkt. 16.

<sup>2</sup> Podano za: A. Urbisz, *Ocena bioróżnorodności jako jeden z ważnych czynników ekorozwoju*, „Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development” 2010 t. 5, nr 1, s. 92.

występujące ekosystemy, relacje zachodzące między biocenozą i biotopem oraz powiązania międzygatunkowe)<sup>3</sup>. Bioróżnorodność została także zdefiniowana przez E.O. Wilsona jako „zróżnicowanie organizmów, rozpatrywanych na wszystkich poziomach organizacji przyrody, od odmian genetycznych w obrębie gatunku, poprzez rodzaje, rodziny, rozmaitość, jeszcze większe jednostki systematyczne, a także rozmaitość ekosystemów – zarówno zespołów organizmów żyjących w określonych siedliskach, jak i samych warunków fizycznych, w których żyją”<sup>4</sup>. Bioróżnorodność jest także określana jako „zmiennosć form życiowych na wszystkich poziomach organizacji biologicznej lub ogół genów, gatunków i ekosystemów spotykanych w danym regionie”<sup>5</sup>.

Z powyższych definicji wynika, iż bioróżnorodność dotyczy zachowania<sup>6</sup>:

- puli genowej danego gatunku (różnorodność wewnątrzgatunkowa) – mierzy się ją określając różnice w genomie poszczególnych osobników (albo populacji);
- gatunków tworzących dany ekosystem – tak zwana różnorodność międzygatunkowa, dotyczy zarówno bogactwa gatunkowego, jak i liczebności poszczególnych gatunków;
- różnorodności ekosystemów (co wpływa również na zróżnicowanie krajobrazu).

Trzy poziomy oraz miary bioróżnorodności przedstawiono na rysunku 1.

Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, iż są ekosystemy przyrodniczo cenne, dla których typowe jest występowanie relatywnie niewielu gatunków je tworzących. Do takich cennych, relatywnie ubogich w gatunki roślin można między innymi zaliczyć jeziora lobeliowe czy torfowiska wysokie. Ponadto, duże urozmaicenie ekosystemów (mozaikowatość krajobrazu) może być efektem działalności człowieka, i jako takie, niekorzystnie wpływać na bioróżnorodność *sensu stricto*<sup>7</sup>.

Pojęcie bioróżnorodności ma charakter wielowymiarowy i jest łączone z innymi terminami, zarówno w odniesieniu do różnorodności gatunkowej, jak i ekosystemowej. Na poziomie gatunków różnorodność jest łączona z bogactwem gatunkowym (liczbą gatunków występujących na danym obszarze), równocześnie (rozumianą jako udział danego gatunku w ekosystemie, częstość jego występowania), różnorodnością gatunkową (miarą rozmaitości gatunków uwzględniającą liczbę gatunków oraz ich liczebność i równocześnie) oraz równomierno-

<sup>3</sup> N. Gerber, *Biodiversity measures based on species-level dissimilarities: a methodology for assessment*, "Ecological Economics" 2011 t. 70, s. 2274.

<sup>4</sup> Podano za: J. Sienkiewicz, *Koncepcje bioróżnorodności – ich wymiary i miary w świetle literatury*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2010 nr 45, s. 9.

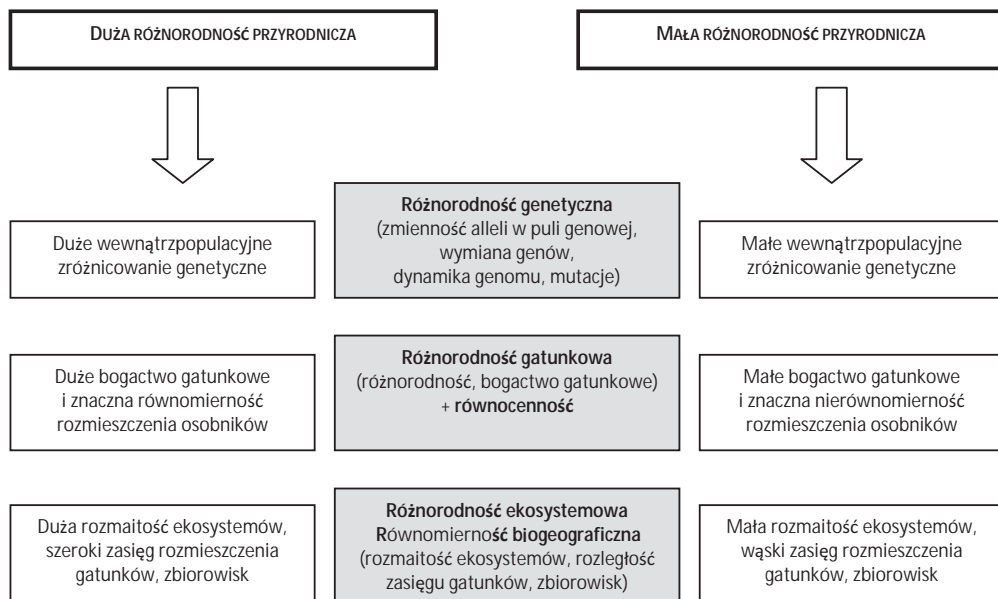
<sup>5</sup> Ibidem.

<sup>6</sup> A.S. Pullin, *Biologiczne podstawy ochrony przyrody*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2007.

<sup>7</sup> Powstanie wielu ekosystemów o relatywnie niewielkiej powierzchni może prowadzić do utraty typowych, specyficznych dla danego ekosystemu cech lub też zagrozić jego trwałości. Przykładowo oszacowano, że obszary leśne o powierzchni mniejszej niż 50 ha mają przypadkowy skład ornitofauny, podczas gdy lasy o większej powierzchni mają typową, leśną ornitofaunę; P. Pawlaczyk, A. Jermaczek, *Poradnik lokalnej ochrony przyrody*, Wyd. Lubuskiego Klubu Przyrodniców, Świebodzin 1995, s. 144.

Rysunek 1

## Podstawowe poziomy organizacji życia a miary bioróżnorodności



Źródło: J. Sienkiewicz, op. cit., s. 9.

ścią rozmieszczenia gatunków, a ściślej, ich populacji w badanym rejonie oraz taksonomicznym rozrzutem gatunków, co pozwala na określenie relacji między gatunkami oraz na wyodrębnienie gatunków ewolucyjnie odizolowanych. Wszystkie wymienione kategorie są również używane jako miary bioróżnorodności. Na poziomie ekosystemów można mówić o różnorodności strukturalnej (urozmaiceniu struktury i zróżnicowaniu populacji gatunków w danym ekosystemie), różnorodności funkcjonalnej (dotyczy ona różnych funkcji pełnionych w ekosystemie przez poszczególne gatunki) oraz produktywności ekosystemów. Również i te kategorie mogą być użyte przy konstruowaniu mierników bioróżnorodności<sup>8</sup>. Zgodnie z innym ujęciem bioróżnorodność może być rozpatrywana w trzech podstawowych aspektach: historycznym, geograficznym i środowiskowym. Pierwszy z wymienionych dotyczy analizy ewolucji gatunków, drugi – zmian w zależności od położenia geograficznego (tak zwany gradient geograficzny: bioróżnorodność najwyższa jest w strefie równikowej i maleje wraz ze wzrostem szerokości geograficznej), a trzeci – zasobności siedliska lub zróżnicowania środowiska (im jest ono wyższe, tym większe bogactwo gatunkowe)<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> J. Sienkiewicz, op. cit.

<sup>9</sup> K. Falińska, *Ekologia roślin*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2004.

Niezależnie od tego, w jakim aspekcie będzie rozpatrywana bioróżnorodność, ściśle łączy się ona z organizmami żywymi, zamieszkującymi świat, ich zróżnicowaniem genetycznym i bogactwem gatunkowym. Różnorodność biologiczna zależy też od warunków abiotycznych, stanowiących środowisko życia gatunków. Ze względu na zmiany wprowadzane przez człowieka, zarówno biotop, jak i biocenoza ulegają silnym przekształceniom, co często prowadzi do utraty bioróżnorodności. Bioróżnorodność może być także oceniana nie tylko w kategoriach przyrodniczych, ale jest również traktowana jako dobro ekonomiczne (kategoria kapitału ekonomicznego).

Bioróżnorodność jest wymieniana wśród wielu elementów kapitału naturalnego. Ściślej, R. Gray wymienia cztery podstawowe kategorie kapitału naturalnego<sup>10</sup>:

- odnawialny (na przykład plantacje leśne, zasoby ryb);
- nieodnawialny i niezastępowalny (na przykład ropa naftowa i surowce mineralne);
- nieodnawialny i zastępowalny (gospodarka odpadami);
- krytyczny (w tym właśnie różnorodność biologiczna, której ocena ma charakter jakościowy).

Wielu autorów zwraca uwagę na fakt, iż działalność prowadzona przez człowieka powoduje zagrożenie bioróżnorodności przez utratę siedlisk, ginięcie gatunków oraz zmniejszenie stabilności ekosystemów a przez to – pogorszenie świadczeń ekosystemowych, co z kolei może prowadzić do pogorszenia jakości życia człowieka<sup>11</sup>. Zachowanie bioróżnorodności jest więc jednym z celów rozwoju zrównoważonego, a ściślej, wśród podstawowych celów ochrony bioróżnorodności wymienia się<sup>12</sup>:

- zachowanie bioróżnorodności *sensu stricte* na trzech omawianych poziomach, w tym utrzymanie naturalnych procesów biologicznych;
- ograniczenie obserwowanego spadku liczebności gatunków (w tym poszczególnych populacji) oraz dalszej degradacji środowiska przyrodniczego;
- poprawę różnorodności biologicznej na terenach na których równowaga biologiczna została zachwiana wskutek antropopresji;
- utrzymanie trwałego wykorzystania zasobów naturalnych (gatunków i ekosystemów) oraz zapewnianych przez nie świadczeń (usług) środowiskowych.

W celu prowadzenia działania na rzecz ochrony bioróżnorodności konieczne jest zbadanie stanu jej zachowania lub przeprowadzenie monitoringu zachodzących zmian. Pomiar bioróżnorodności jest więc kluczowym elementem umożliwiającym podjęcie skutecznych działań przeciwdziałających utracie puli genowej, bogactwa gatunkowego, zaburzeniu relacji międzygatunkowych czy też złej kondycji ekosystemów.

<sup>10</sup> G. Lamberton, *Sustainability accounting – a brief history and conceptual framework*, "Accounting Forum" 2005 t. 29.

<sup>11</sup> S.E. Nielsen i in., *A new method to estimate species and biodiversity intactness using empirically derived reference conditions*, "Biological Conservation" 2007 t. 137.

<sup>12</sup> J. Wiśniewski, D.J. Gwiazdowicz, *Ochrona przyrody*, Wyd. Akademii Rolniczej, Poznań 2004.

## Podstawowe założenia pomiaru bioróżnorodności

Istnieje wiele metod oceny bioróżnorodności. Stosunkowo rzadko prowadzona jest ocena na poziomie genetycznym – wymaga badań laboratoryjnych. Różnorodność biologiczna na poziomie genetycznym jest ponadto trudna do oszacowania, co wynika z faktu, iż jeden organizm zawiera wiele różnych genów. Jednak zachowanie różnorodności puli genowej w obrębie danego gatunku jest uważane za jeden z kluczowych elementów zachowania bioróżnorodności w ogóle<sup>13</sup>. Ocena na tym poziomie jest możliwa, chociaż wymaga zastosowania technik laboratoryjnych. Przykładowo, J. Avise podjął próbę oceny geograficznego zróżnicowania populacji zwierząt (bezkęgowców i kęgowców) na podstawie badań mitochondrialnego DNA<sup>14</sup>.

Zazwyczaj na poziomie lokalnym i regionalnym bioróżnorodność jest szacowana w odniesieniu do gatunków lub ekosystemów. Jednym ze skutków takiego pomiaru jest wprowadzanie ochrony gatunkowej (w wypadku roślin, zwierząt i grzybów zagrożonych, najczęściej wskutek atropopresji) lub tworzenie tak zwanych terenowych form ochrony przyrody (parków narodowych, rezerwatów przyrody, obszarów Natura 2000). Często mierzy się również bogactwo gatunkowe (liczbę gatunków bytujących na danym obszarze), chociaż niektórzy autorzy uważają, że ta metoda nie jest właściwa, ponieważ nie uwzględnia się w niej zróżnicowania w obrębie danego gatunku<sup>15</sup>. Poza tym, należy pamiętać, iż bioróżnorodność oznacza, że występują różne typy ekosystemów – i te, dla których typowe jest występowanie wielu różnych gatunków, jak i te, które są relatywnie „ubogie” (których biocenozę stanowi relatywnie niewiele gatunków). Bioróżnorodność w szerokim ujęciu oznacza, że wszystkie te typy ekosystemów powinny zostać zachowane.

Metody oceny bioróżnorodności można podzielić na trzy podstawowe grupy, w zależności od punktu odniesienia<sup>16</sup>:

- ocena składu gatunkowego badanego obszaru – dokonywana w efekcie prowadzonej inwentaryzacji przyrodniczej, przykładem jest ocena stanu florystycznego (ang. *Floristic Quality Assessment*); ocenie podlegają wybrane lub wszystkie gatunki roślin i (lub) zwierząt obecnych na danym obszarze, uzyskane wyniki można także porównać z listą gatunków typowych dla danego ekosystemu;
- porównanie obecnego stanu ekosystemu z jego stanem z przeszłości (ang. *time-zero*) – to ocena zmian zachodzących w czasie; w tej metodzie wybiera się określony punkt w czasie (punkt zerowy) i do tego stanu porównuje zmiany zachodzące w kolejnych okresach;

<sup>13</sup> N. Gerber, *Biodiversity measures based on species-level dissimilarities: a methodology for assessment*, "Ecological Economics" 2011 t. 70.

<sup>14</sup> A.S. Pullin, *Biologiczne podstawy ochrony przyrody*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2007.

<sup>15</sup> N. Gerber, op. cit.

<sup>16</sup> S.E. Nielsen i in., op. cit., s. 404.

- odniesienie do obszarów chronionych – w tej metodzie porównuje się bioróżnorodność danego obszaru (regionu) w stosunku do podobnych terenów o naturalnym, mało zmienionym środowisku, na przykład parków narodowych. Ocena bioróżnorodności może być prowadzona w skali lokalnej, krajobrazowej (regionalnej) lub makroskali. W wypadku tej pierwszej analizuje się zróżnicowanie (różnorodność gatunkową) danego ekosystemu lub siedliska, uwzględniając przy tym obce gatunki wprowadzone przez człowieka czy inne zmiany będące skutkiem antropopresji. Na większym obszarze (tak zwana przestrzenna skala krajobrazowa) bada się różnorodność (urozmaicenie, mozaikowość) siedlisk lub ekosystemów, w tym zmiany dotyczące zajmowanej przez nie powierzchni, wynikające z warunków naturalnych lub będące skutkiem działalności gospodarczej (wliczając to zmiany wprowadzone przez człowieka). Natomiast w wypadku makroskali ocena dotyczy różnorodności międzyregionalnej<sup>17</sup>.

Najczęściej stosuje się metody pomiaru, które pozwalają na ocenę zachowania różnorodności biologicznej, możliwa jest także ocena stopnia utraty różnorodności biologicznej. Badania mogą dotyczyć określonych gatunków wskaźnikowych (bioindykatorów) lub też stosowania określonych miar bioróżnorodności.

Wielu autorów zwraca uwagę, że bioróżnorodność najwygodniej można badać na poziomie gatunków, gdyż zmiany zachodzące w ich występowaniu i liczebności są najbardziej czytelną miarą zmian różnorodności biologicznej czy też zmian zachodzących w stanie środowiska<sup>18</sup>. W wypadku bioróżnorodności w skali lokalnej, regionalnej i wyższej, część autorów zakłada konieczność dokonywania kompleksowej oceny w odniesieniu do czterech podstawowych kategorii: zmian w bioróżnorodności (wliczając w to występowanie, liczebność i rozmieszczenie gatunków), zmian w powierzchni siedlisk (lub ekosystemów) oraz struktury krajobrazu, stopnia degradacji siedliska oraz zagrożeń (rzeczywistych i potencjalnych) dla obszarów chronionych (o wysokich walorach przyrodniczych)<sup>19</sup>.

W praktyce, najczęściej ocena bioróżnorodności jest dokonywana na poziomie gatunkowym – na podstawie występowania, liczebności oraz rozmieszczenia wybranych gatunków roślin lub zwierząt – lub zbiorowisk roślinnych (fitocenozy).

## Wybrane metody oceny bioróżnorodności na poziomie gatunków i fitocenozy

Ocena bioróżnorodności w wypadku tej grupy metod bazuje na monitoringu wszystkich lub wybranych gatunków bądź też zbiorowisk roślinnych (względnie siedlisk) oraz analizie zmian w ich liczebności w danym okresie. W zależności od metody, badanie może dotyczyć gatunków pospolitych (o wysokiej tolerancji na

<sup>17</sup> J. Sienkiewicz, op. cit.

<sup>18</sup> S.E. Nielsen i in., op. cit.; J. Sienkiewicz, op. cit.

<sup>19</sup> H. Nagendra i in., *Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity and threats*, "Ecological Indicators" 2013 t. 33.



Tabela 1  
Wybrane miary różnorodności gatunkowej

Wskaźnik	Wzór	Legenda
Simpsona ( $D$ )	$D = \frac{1}{\sum p_i^2}$	$p_i$ – proporcja gatunku $i$ w próbie badawczej
Margalefa ( $d, R_1$ )	$d = \left( \frac{S-1}{\log N} \right)$	$S$ – liczba gatunków na badanym obszarze $N$ – liczba wszystkich osobników
Uproszczony wskaźnik Margalefa stosowany przez Min. Środowiska	$R = \frac{S}{\log N}$	$S$ – liczba rodzin $N$ – liczba wszystkich osobników
Różnorodności ( $H$ ) Shannona (Shannona-Wienera, Shannona-Weavera)	$H = -\sum (p_i) \cdot (\ln p_i)$ $p_i = n_i / N$	$p_i$ – udział $i$ -tego gatunku w stosunku do sumy udziału wszystkich gatunków $n_i$ – liczebność danego gatunku $N$ – całkowita liczebność wszystkich gatunków
Równocенności (udziału poszczególnych gatunków) Shannona ( $E_H, J$ )	$E_H = \frac{H}{\ln S}$	$H$ – wskaźnik różnorodności Shannona $S$ – liczba gatunków na danym obszarze
Dominacji Shannona i Wienera (Shannona i Weavera)	$C = \sum \left( \frac{N_i}{N} \right)^2$	$N_i$ – liczebność danego gatunku $i$ $N$ – całkowita liczebność wszystkich gatunków
Zmodyfikowany wskaźnik Simpsona ( $D$ )	$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$	$n$ – liczba osobników danego gatunku $N$ – liczba wszystkich osobników wszystkich gatunków

Źródło: opracowanie własne na podstawie: K. Falińska, op. cit., s. 273; J. Sienkiewicz, op. cit., s. 18-20; A. Urbisz, op. cit., s. 92.

zmiany środowiska, występujących w różnych ekosystemach) lub też gatunków rzadkich, specyficznych dla określonego ekosystemu. Część badań opiera się na występowaniu określonych (najczęściej rzadkich, przyrodniczo cennych) gatunków roślin lub zbiorowisk roślinnych, a część – wybranych gatunków zwierząt; można także badać skład gatunkowy (szczególnie w odniesieniu do roślinności) badanego obszaru.

Najczęściej ocena dotyczy występowania gatunków i ich liczebności. Stosowane są różne miary. Można także ocenić bogactwo gatunkowe, czyli całkowitą liczbę gatunków ( $S$ ) występujących na danym obszarze lub w próbie badawczej (na przykład na powierzchni próbnej). Badanie to jednak nie jest adekwatne do rzeczywistości, gdyż nie uwzględnia: liczebności poszczególnych gatunków (ich pospolitości lub rzadkości). Dlatego też znacznie częściej stosuje się wskaźniki, które bazują nie tylko na występowaniu gatunków, ale także na ich liczebności, czyli pomiar dotyczy różnorodności gatunkowej (tabela 1). Mierniki te mogą być stosowane w postaci zmodyfikowanej: zamiast logarytmu ( $\log$ ) jest logarytm naturalny ( $\ln$ ) lub odwrotnie<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> K. Falińska, op. cit.; J. Sienkiewicz, op. cit.; A. Urbisz, op. cit.



Przedstawione w tabeli 1 miary pozwalają również na ocenę podobieństw lub różnic występujących w poszczególnych zbiorowiskach<sup>21</sup>. Analiza bioróżnorodności na poziomie gatunkowym ściśle wiąże się z bioróżnorodnością zbiorowisk roślinnych (fitocenozy) czy ekosystemów.

W celu poznania gatunków występujących na danym terenie, w ramach inwentaryzacji przyrodniczej, opierając się na pracach terenowych i danych archiwalnych, sporządza się wykaz wszystkich gatunków z uwzględnieniem warunków siedliska, w tym spis florystyczny. Możliwe jest posługiwanie się przy tym listami ekologicznych gatunków wskaźnikowych<sup>22</sup>. Ocena występowania i liczebności gatunków pozwala dość płynnie przejść do oceny stanu zachowania zbiorowisk roślinnych.

Metodą stosowaną do oceny składu gatunkowego fitocenozy jest ocena jakości florystycznej (ang. *Floristic Quality Assessment* – FQA). Opiera się ona na dwóch założeniach: gatunki roślin różnią się swoją tolerancją na pojawiające się zakłócenia oraz tym, że gatunki rodzime wykazują odmienny stopień „wierności” siedlisku (w rozumieniu: integralności siedliska)<sup>23</sup>. Każdemu gatunkowi roślin przypisywane są tak zwane współczynniki konserwatyzmu (ang. *Coefficient of Conservatism* – CC), które przyjmują wartość od 0 do 10. Ich wartość zależy od poziomu tolerancji danego gatunku na zmiany i możliwości jego występowania w wielu różnych lub tylko konkretnych, wybranych siedliskach (w tym tylko na siedliskach niezmiennych). Przykładowo, gatunkom obcym jest przypisywany współczynnik 0, a rodzimym gatunkom roślin, o wąskiej amplitudzie ekologicznej i specyficznych wymaganiach siedliskowych, związanym tylko z określonym zbiorowiskiem, przypisywany jest najwyższy współczynnik: 10. Te ostatnie gatunki są uznawane za najcenniejsze<sup>24</sup>, i potencjalnie najszybciej ginące z ekosystemów w efekcie wprowadzanych przez człowieka zmian. Wykorzystanie tego wskaźnika pozwala więc na nadanie określonej rangi poszczególnym gatunkom i jest skorelowane z innymi miarami wykorzystywanymi do oceny stopnia zachowania bioróżnorodności<sup>25</sup>. Skalę współczynników przypisywaną gatunkom roślin przedstawiono w tabeli 2.

<sup>21</sup> K. Falińska, op. cit.

<sup>22</sup> P. Pawlaczek, A. Jermaczek, op. cit.; C. Wysocki, P. Sikorski, *Ocena środowiska przyrodniczego na podstawie szaty roślinnej*, w: *Ocena i wycena zasobów przyrodniczych*, red. J. Szyszko, J. Rylke, P. Jeżowski, Wyd. Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa 2002.

<sup>23</sup> D.M. Mushet, N.H. Jr Euliss, T.L. Sheffer, *Floristic quality assessment of one natural and three restored wetland complexes in North Dakota, USA*, "Wetlands" 2002 t. 22, nr 1, www.bhwp.org [25-11-2013].

<sup>24</sup> Są to tak zwane cenoelementy – gatunki charakterystyczne dla określonych fitocenozy, o małym zakresie tolerancji na zmiany zachodzące w otoczeniu, które, wskutek tych ostatnich, ustępują jako pierwsze. Gatunki te są zazwyczaj dobrymi wskaźnikami stanu zachowania bioróżnorodności; P. Pawlaczek, A. Jermaczek, op. cit., s. 73.

<sup>25</sup> D.M. Mushet, N.H. Jr Euliss, T.L. Sheffer, op. cit.

Tabela 2  
Przypisywanie współczynników konserwatywizmu

Wartość	Opis
0 – 3	rośliny o wysokiej ekologicznej tolerancji na zmienność środowiska, spotykane w wielu różnych fitocenozach
4 – 6	rośliny o średniej tolerancji ekologicznej, kojarzone ze specyficznymi fitocenozaami
7 – 8	rośliny o niewielkim zakresie tolerancji ekologicznej, typowe dla zaawansowanych stadiów sukcesji
9 – 10	rośliny o wysokim stopniu wrażliwości na zmiany, występujące na siedliskach pierwotnych, niezmienionych (gatunki uznane za „bardzo konserwatywne”)

Źródło: [www.bhwp.org](http://www.bhwp.org) [25-11-2013].

Badanie oceny jakości florystycznej wymaga<sup>26</sup>:

- sporządzenia wykazu gatunków obecnych na danym obszarze,
- osobnej oceny dla każdego z występujących gatunków współczynnika konserwatywizmu (CC lub C).

W kolejnym etapie badania, wartości CC w połączeniu z listą rodzimych gatunków roślin dla danego obszaru, może być wykorzystane do określenia jakości florystycznej poprzez obliczenie średniej CC (wszystkie wartości CC dla poszczególnych rodzimych gatunków zostają zsumowane i podzielone przez liczbę tych gatunków), tak zwanego średniego współczynnika dla gatunków rodzimych (ang. *Native Mean Coefficient* – NMC). Na końcu oblicza się wskaźnik jakości florystycznej (ang. *Floristic Quality Index* – FQI) ze wzoru<sup>27</sup>:

$$FQI = NMC \cdot \sqrt{N} \quad (1)$$

gdzie:  $N$  to liczba gatunków rodzimych.

NMC pozwala na określenie przeciętnego stanu zachowania zbiorowiska. Jeśli zbiorowisko ulega degradacji to gatunkami, które najszybciej giną są te „konserwatywne”, o bardzo niskiej tolerancji na zmiany otoczenia, o najwyższym współczynniku CC. W takim wartości średnia NMC przyjmuje niższe wartości, podobnie FQI. Zakłada się, iż wpływ obecności gatunków obcych (mimo że nie są brane bezpośrednio pod uwagę) jest widoczny poprzez wspomniane zmiany wskaźników NMC i FQI wynikające z utraty gatunków rodzimych. FQI może być także wykorzystywany do porównań dwóch obszarów o podobnych fitocenozach, monitoringu zmian zachodzących w czasie oraz badań pozwalających na określenie wpływu gospodarki na zmiany środowiska<sup>28</sup>. FQA jednak jest krytykowana ze względu na pewien subiektywizm (to eksperci przypisują wartość wskaźnika). Nie pozwala także na określenie liczebności, zagęszczenia czy dominacji poszczególnych gatunków. Ponadto metoda ta wymaga dokonania oceny CC

<sup>26</sup> [www.bhwp.org](http://www.bhwp.org) [25-11-2013].

<sup>27</sup> D.M. Mushet, N.H. Jr Euliss, T.L. Sheffer, op. cit.

<sup>28</sup> Ibidem.

dla wszystkich rodzimych gatunków roślin obecnych na danym obszarze<sup>29</sup>, więc jest pracochłonna a więc mało praktyczna<sup>30</sup>.

Bioróżnorodność może być także oceniana w oparciu o gatunki wskaźnikowe – bioindykatory. Za takie uważa się wybrane organizmy (ewentualnie zbiorowiska roślinne), których występowanie, liczebność, stopień dominacji, świadczą o stanie zachowania ekosystemu lub warunkach środowiska<sup>31</sup>. Bioindykatorami może być wiele gatunków. Najbardziej znaną metodą oceny jest ta bazująca na występowaniu wybranych gatunków porostów w zależności od stanu zanieczyszczenia środowiska.

Powyższe metody (poza FQA) nie uwzględniają jednak zmian w składzie gatunkowym spowodowanych wprowadzeniem gatunków obcych, lub też wypieraniem gatunków rodzimych typowych dla danego ekosystemu przez gatunki synantropijne lub te o szerokim zasięgu występowania, obecne w wielu zbiorowiskach (gatunki kosmopolityczne). Podejmowano więc próby określenia stopnia synantropizacji lub też udziału gatunków nierodzimych w zbiorowisku. Przykładowo można tutaj wymienić: wskaźnik synantropizacji, indeks obecności gatunków obcych czy ocenę nienaruszalności bioróżnorodności.

Wskaźnik antropizacji ( $S_f$ ) danego obszaru można wyrazić za pomocą wzoru<sup>32</sup>:

$$S_f = \left( \frac{A_p + A}{N} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:

- $A_p$  – liczba gatunków stwierdzonych na danym obszarze, które są apofitami (gatunkami rodzimymi, ale rozprzestrzonymi na obce sobie siedliska),
- $A$  – liczba antropofitów (gatunków, które są obce geograficznie),
- $N$  – ogólna liczba wszystkich gatunków. Wskaźnik ten demonstruje procentowy udział gatunków obcych dla danego zbiorowiska (lub siedliska)<sup>33</sup>.

Wskaźnik obecności i wpływu gatunków obcych, nierodzimych (ang. *Plant Stewardship Index* – PSI) jest modyfikacją wspomnianej już oceny jakości florystycznej (FOA). Również w tym wypadku należy sporządzić listę gatunków roślin występujących na badanym obszarze, ocenić ich CC (dla każdego gatunku z osobna) a następnie obliczyć wskaźnik obecności gatunków obcych (PSI) ze wzoru<sup>34</sup>:

$$PSI = TMC \cdot \sqrt{N} \quad (3)$$

gdzie:

- $TMC$  (ang. *Total Mean C*) to suma współczynników CC podzielona przez wartość  $(N + I)$ ,
- $N$  – liczba gatunków rodzimych,
- $I$  – liczba gatunków wprowadzonych do zbiorowiska.

<sup>29</sup> Lub, w wypadku jej modyfikacji (wskaźnik obecności gatunków obcych PSI – *Plant Stewardship Index*), wszystkich gatunków, łącznie obcych i rodzimych, obecnych na badanym obszarze.

<sup>30</sup> D.M. Mushet, N.H. Jr Euliss, T.L. Sheffer, op. cit.

<sup>31</sup> P. Pawlaczek, A. Jermaczek, op. cit.; J. Sienkiewicz, op. cit.

<sup>32</sup> C. Wysocki, P. Sikorski, op. cit.

<sup>33</sup> Ibidem.

<sup>34</sup> www.bhwp.org [25-11-2013].

Modelowanie zostało także zastosowane do oceny nienaruszalności różnorodności biologicznej (ang. *biodiversity intactness*) na podstawie metody zaproponowanej przez S.E. Nielsena i jego współpracowników. Autorzy ci zwrócili uwagę, że standardowe metody oceny bioróżnorodności, oparte na bogactwie gatunkowym (występowanie gatunków, ich liczebność), zazwyczaj nie uwzględniają zmian spowodowanych wprowadzeniem gatunków obcych geograficznie lub zmian, gdy gatunki typowe dla danego ekosystemu są wypierane przez gatunki pospolite albo też sytuacji, gdy zmiany wprowadzone przez człowieka negatywnie wpływają na obecność poszczególnych gatunków rodzimych. Zaproponowali więc model umożliwiający określenie zmian w występowaniu i liczebności ssaków wskutek antropopresji, w przypadku budowy dróg (autostrad). Badane parametry porównywali do sytuacji wzorcowej, jaką był brak sieci drogowej na danym obszarze. Po ustaleniu warunków odniesienia badanie przebiegało w następujących etapach: obliczono wskaźniki występowania i obfitości (liczebności populacji) dla danego gatunku i na ich podstawie wskaźnik nienaruszalności dla gatunku oraz stanu zachowania bioróżnorodności. W wypadku występowania zbadano (w ściśle określonym terminie) ślady pozostawione przez ssaki w wielu lokalizacjach. Gatunkowi, którego tropy zaobserwowano we wszystkich miejscach, przypisano wskaźnik występowania 100 i dokonano standaryzacji wskaźnika. Zarówno w wypadku występowania, jak i liczebności poszczególnych gatunków zbadano relację między tymi dwoma parametrami w stanie nienaruszonym i w sytuacji, gdy tereny leśne zostały przecięte siecią dróg<sup>35</sup>. Etapy badania zostały przedstawione w tabeli 3.

O utracie bioróżnorodności świadczyć mogą także sporządzane wykazy gatunków ginących oraz zagrożonych wyginięciem sporządzane w formie czerwonych ksiąg lub czerwonych list. Gatunki chronione (grzyby, rośliny i zwierzęta) również mogą świadczyć o zmianach zachodzących w środowisku – część z nich była wykorzystywana gospodarczo w poprzednich okresach, co przyczyniło się do znaczącego spadku ich liczebności. Kolejnym czynnikiem wpływającym na liczebność gatunków są przekształcenia siedlisk wskutek działalności prowadzonej przez człowieka. Analiza zmian gatunków (a ściślej – liczby tych gatunków) umieszczanych na wykazach gatunków chronionych, na czerwonych listach czy w czerwonych księgach, także pozwala w pewnym stopniu na ocenę bioróżnorodności<sup>36</sup>.

Poza wybranymi gatunkami roślin czy zwierząt, bioróżnorodność może być także oceniana na podstawie wybranych siedlisk, lub grup siedlisk (tworzących krajobraz). Taka ocena jest możliwa, ale należy pamiętać, iż, co prawda, na określonych siedliskach występują pewne, typowe dla nich gatunki<sup>37</sup>, ale z drugiej

<sup>35</sup> S.E. Nielsen i in., op. cit.

<sup>36</sup> Analogicznie można także oceniać bioróżnorodność w oparciu o listy siedlisk chronionych czy czerwone listy fitocenozy.

<sup>37</sup> Pojawia się także ścisła relacja między danym gatunkiem zwierzęcia a jego pokarmem, na przykład obecność pewnych gatunków owadów zależy od występowania niektórych gatunków roślin R.G.H. Bunce i in., *The significance of habitats as indicators of biodiversity and their links to species*, "Ecological Indicators" 2013 t. 33, s. 22.

Tabela 3

Szacowanie nienaruszalności różnorodności biologicznej – etapy badania

Lp	Badanie	Wskaźnik
1.	Wskaźnik występowania (ang. <i>occurrence index</i> )	dla wartości obserwowanych powyżej górnej granicy: $OI_i = 100 - [(O_i - U_i) \cdot 100]$ lub dla wartości obserwowanych poniżej dolnej granicy: $OI_i = 100 - \left[ \left( \frac{O_i - L_i}{L_i} \right) \cdot 100 \right]$ <i>O<sub>i</sub></i> – wskaźnik występowania dla gatunku <i>i</i> (od 0 – gatunek zdegradowany, do 100 – nienaruszony) <i>O<sub>i</sub></i> – udział miejsc zajmowanych przez gatunek <i>i</i> <i>U<sub>i</sub></i> – górna granica prawdopodobieństwa występowania gatunku <i>i</i> w stanie nienaruszonym (warunki odniesienia) <i>L<sub>i</sub></i> – dolna granica prawdopodobieństwa występowania gatunku <i>i</i> w stanie nienaruszonym (warunki odniesienia)
2.	Wskaźnik obfitości (ang. <i>abundance index</i> )	$AI_i = 100 - \left[ \left( \frac{[A_i + 0,5]^{0,5} - (E_i + 0,5)^{0,5}}{(e_i + 0,5)^{0,5}} \right) \cdot 100 \right]$ <i>AI<sub>i</sub></i> – wskaźnik obfitości dla gatunku <i>i</i> <i>A<sub>i</sub></i> – zaobserwowana średnia dla występującego gatunku <i>i</i> , <i>E<sub>i</sub></i> – oczekiwana obfitość (liczebność) dla gatunku <i>i</i>
3.	Nienaruszalność gatunków (ang. <i>species intactness</i> )	$SI_i = (OI_i \cdot AI_i) / 100$ <i>SI<sub>i</sub></i> – wskaźnik nienaruszalności dla gatunku <i>i</i> <i>OI<sub>i</sub></i> – wskaźnik występowania dla gatunku <i>i</i> <i>AI<sub>i</sub></i> – wskaźnik obfitości dla gatunku <i>i</i>
4.	Nienaruszalność bioróżnorodności (ang. <i>biodiversity intactness</i> )	$BI = \frac{1}{R} \sum SI_i$ <i>SI<sub>i</sub></i> – wskaźnik nienaruszalności gatunków <i>R</i> – liczba rozpatrywanych gatunków

Źródło: S.E. Nielsen i in., op. cit., s. 405-406.

strony niektóre gatunki mogą być obecne w kilku odmiennych siedliskach, dlatego też nie zawsze pomiar bioróżnorodności dokonywany na podstawie wybranych gatunków zwierząt (lub rzadziej, roślin) można odnieść do oceny prowadzonej na podstawie typów siedlisk<sup>38</sup>.

Ocena stanu zachowania zbiorowisk roślinnych może być dokonywana na podstawie tak zwanych zdjęć fitosocjologicznych<sup>39</sup> na odpowiednio dobranych powierzchniach próbnych, chociaż tego typu ocena jest do pewnego stopnia subiektywna<sup>40</sup>. Na poziomie fitocenozy pewną formą oceny zachowania bioróżnorodności może być określenie roślinności potencjalnej (a ściślej, mapy potencjalnej roślinności naturalnej). Jest to teoretyczne zbiorowisko roślinne (zwane w skrócie roślinnością), jakie istniałoby na danym obszarze, gdyby nie było

<sup>38</sup> R.G.H. Bunce i in., op. cit.<sup>39</sup> Bada się udział (pokrycie powierzchni – liczebność) gatunków na wyodrębnionych powierzchniach próbnych.<sup>40</sup> P. Pawlaczyk, A. Jermaczek, op. cit.; J. Sienkiewicz, op. cit.

ingerencji człowieka. Różnica między roślinnością rzeczywistą (aktualnie występującą) a potencjalną pozwala na określenie stopnia zmian<sup>41</sup>.

W wielu krajach są podejmowane próby oceny bioróżnorodności na podstawie zdjęć lotniczych lub satelitarnych<sup>42</sup>. Jednak ocena siedlisk czy zbiorowisk roślinnych, prowadzona na podstawie zdjęć lotniczych czy satelitarnych, nie może być do końca traktowana jako miarodajna: pozwoli na określenie typu siedliska, ale nie na określenie, jak bardzo mogło ono zostać zniekształcone wskutek antropopresji. Może być ona stosowana jako metoda uzupełniająca do oceny składu gatunkowego zbiorowisk i stopnia ich zachowania.

Inwentaryzacja przyrodnicza i ocena stanu zachowania środowiska przyrodniczego (gatunków, ekosystemów) na poziomie lokalnym umożliwiają ocenę bioróżnorodności na poziomie regionalnym i wyższym oraz dokonywanie porównań międzynarodowych.

## Wybrane metody oceny bioróżnorodności na poziomie krajowym, międzynarodowym i globalnym

Na poziomie państw, opierając się na analizie występowania i stanu zagrożenia gatunków można zmierzyć przeciętny wskaźnik bogactwa gatunkowego (łącznie w odniesieniu do roślin i zwierząt) dla danego kraju – stosunek ważonego bogactwa gatunkowego (ang. *weighted species enrichment* – WSE). Oblicza się go korzystając z następującego wzoru<sup>43</sup>:

$$WSE = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{ij} - t_{ij})}{\sum_{i=1}^n k_{ij}} \cdot 100 \quad (4)$$

gdzie:

- $k_{ij}$  – liczba znanych gatunków stwierdzonych w kraju  $i$ , w konkretnych kategoriach  $j$  (przykładowo grzyby, rośliny, ryby, płazy, gady, ptaki, ssaki),
- $t_{ij}$  – liczba gatunków zagrożonych w kraju  $i$  w odpowiednich kategoriach  $j$ .

Inną metodę oceny bioróżnorodności poszczególnych obszarów bazującą na występowaniu określonych gatunków i (lub) zbiorowisk wykorzystano przy wyznaczaniu obszarów cennych przyrodniczo w Europie – tak zwanych obszarów Natura 2000. Ta sieć powstała w oparciu o dwie dyrektywy UE: tak zwaną dyrektywę ptasią<sup>44</sup>, stanowiącą podstawę dla tworzenia obszarów specjalnej ochrony ptaków dziko żyjących (OSO) oraz tak zwaną dyrektywę siedliskową<sup>45</sup>, na pod-

<sup>41</sup> P. Pawlaczyk, A. Jermaczek, op. cit.; C. Wysocki, P. Sikorski, op. cit.

<sup>42</sup> R.G.H. Bunce i in., op. cit.; N.C. Coops, M.A. Wulder, D. Iwanicka, *An environmental domain classification of Canada using earth observation data for biodiversity assessment*, "Ecological Informatics" 2009 t. 4.

<sup>43</sup> G.Emm. Halkos, N.G. Tzeremes, *Measuring biodiversity performance: A conditional efficiency measurement approach*, "Environmental Modelling & Software" 2010 t. 25.

<sup>44</sup> Dyrektywa Rady 79/409/EWG.

<sup>45</sup> Dyrektywa Rady 92/43/EWG.



stawie której są tworzone specjalne obszary ochrony siedlisk (SOO). W wypadku OSO pod uwagę wzięto występowanie i liczebność gatunków ptaków wymienionych w załączniku do dyrektywy ptasiej (gatunki zagrożone, wędrowne i gromadne występujące w dużych koncentracjach) oraz migrujące gatunki ptaków wodno-błotnych. Pod uwagę bierze się (poza liczebnością) także rozpowszechnienie poszczególnych gatunków<sup>46</sup> i bogactwo gatunkowe<sup>47</sup>; SOO z kolei są tworzone na obszarach, gdzie są konkretne siedliska przyrodnicze, uznane za siedliska będące przedmiotem zainteresowania wspólnoty lub za priorytetowe (uwzględnia się także stan zachowania siedliska<sup>48</sup>, stopień reprezentatywności<sup>49</sup>, stan zachowania jego struktury i pełnionych funkcji, zajmowaną powierzchnię oraz relację w stosunku do krajowych zasobów tego siedliska) oraz gdzie występują wybrane gatunki roślin i zwierząt, ważne w skali Europy. W wypadku gatunków pod uwagę bierze się, czy zostały one uznane za priorytetowe (podobnie jak siedliska), wielkość i zagęszczenie populacji, stopień izolacji oraz rozmieszczenie na terenie całego kraju. Kolejnym aspektem brany pod uwagę przy wyznaczaniu SOO jest ich położenie na trasach migracji zwierząt czy obszarach pełniących funkcję korytarza ekologicznego. Taka procedura umożliwi określenie względnej wartości danego obszaru<sup>50</sup>. Metodę wykorzystaną do wyznaczania obszarów Natura 2000 można uznać za jeden z najbardziej kompleksowych sposobów oceny bioróżnorodności, szczególnie w odniesieniu do powoływania specjalnych obszarów ochrony siedlisk.

Dość skomplikowany system oceny stopnia bioróżnorodności przyjęła Europejska Agencja Środowiska (ang. *European Environment Agency* – EEA) opierając się na kryteriach Konwencji o różnorodności biologicznej przyjętej w 1992 roku.

<sup>46</sup> Udział procentowy powierzchni w granicach obszaru badań, na której stwierdzono występowanie danego gatunku.

<sup>47</sup> J. Gromadzka, M. Gromadzki, *Kryteria waloryzacji Obszarów Specjalnej Ochrony*, w: *Ekologiczna sieć Natura 2000. Problem czy szansa*, red. M. Makomaska-Juchiewicz, S. Tworek, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków 2003, s. 31-35; *Monitoring ptaków lęgowych. Poradnik metodyczny dotyczący gatunków chronionych dyrektywą ptasią*, red. P. Chylarecki, A. Sikora, Z. Cenian, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2009, s. 24-25; *Wdrażanie koncepcji sieci Natura 2000 w Polsce w latach 2001 – 2003. Materiały instruktażowe dla Wojewódzkich Zespołów Realizacyjnych wraz z załącznikami*, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków-Warszawa-Gdańsk 2002, s. 13-14.

<sup>48</sup> Chodzi tutaj o stopień zachowania typowej struktury siedliska, zachowania jego funkcji (w przyszłości) oraz możliwość jego otworzenia (renaturalizacji), *Instrukcja wypełniania Standardowego Formularza Danych obszaru Natura 2000. Wersja 2012.1*, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2012, s. 17-19.

<sup>49</sup> W tym wypadku określa się, w jakim stopniu dane siedlisko zostało wykształcone, *Instrukcja wypełniania...*, s. 16.

<sup>50</sup> M. Makomaska-Juchiewicz, S. Tworek, G. Cierlik, *O kryteriach typowania Specjalnych Obszarów Ochrony*, w: *Ekologiczna sieć Natura 2000. Problem czy szansa*, red. M. Makomaska-Juchiewicz, S. Tworek, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków 2003; rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 kwietnia 2010 r. w sprawie siedlisk przyrodniczych oraz gatunków będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty, a także kryteriów wyborów obszarów kwalifikujących się do uznania lub wyznaczenia jako obszary Natura 2000 (Dz.U. nr 77 poz. 510 z późn. zm.).



W 2007 roku opublikowano pierwszy zestaw wskaźników pozwalających na ocenę stanu zachowania różnorodności biologicznej w Europie<sup>51</sup>. Zostały one podzielone na 7 głównych grup: status i trendy składowych bioróżnorodności, zagrożenia dla bioróżnorodności, integralność ekosystemów oraz świadczenia ekosystemowe, zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych, status dostępu i udział w korzyściach (w odniesieniu do wykorzystywania zasobów genetycznych), status transferu zasobów (chodzi tutaj o finansowanie działań na rzecz bioróżnorodności) a także opinia publiczna (rozumiana głównie jako świadomość ekologiczna oraz partycypacja społeczna)<sup>52</sup>. Wskaźniki dotyczące pierwszego z omawianych obszarów przedstawiono w tabeli 4.

Zaproponowano zmianę powyższych wskaźników w kolejnym okresie (strategia do roku 2020). Przykładowo, w wypadku gatunków zaproponowano obserwację nie tylko ich liczebności i rozmieszczenia, ale także ocenę zagrożenia wyginięciem, a w wypadku analogicznych siedlisk – nie tylko zmiany powierzchni, ale

Tabela 4  
Wskaźniki dotyczące statusu składowych bioróżnorodności oraz trendów ich zmian

Główny wskaźnik	Wskaźniki specyficzne
Trendy dotyczące liczebności i rozmieszczenia wybranych gatunków	Rozmieszczenie i liczebność: wybranych gatunków: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ptaków</li> <li>• motyli</li> </ul>
Zmiany w statusie gatunków zagrożonych i (lub) chronionych	Wykazy gatunków: <ul style="list-style-type: none"> <li>• czerwona lista gatunków europejskich</li> <li>• gatunki będące przedmiotem zainteresowania wspólnoty</li> </ul>
Trendy dotyczące rozszerzania się wybranych biomów <sup>52</sup> , ekosystemów i siedlisk	Pod uwagę bierze się: <ul style="list-style-type: none"> <li>• powierzchnię ekosystemu</li> <li>• siedliska będące przedmiotem zainteresowania wspólnoty</li> </ul>
Trendy dotyczące różnorodności genetycznej zwierząt udomowionych, roślin hodowlanych i gatunków ryb o dużym znaczeniu dla gospodarki	Uwzględnia się genetyczne zróżnicowanie inwentarza żywego
Powierzchnia obszarów chronionych	Uwzględnia się następujące formy obszarów chronionych: <ul style="list-style-type: none"> <li>• obszary chronione tworzone w oparciu o prawo krajowe,</li> <li>• obszary Natura 2000 (OSO, SOO)</li> </ul>

Źródło: *Streamlining European biodiversity indicators 2020 ...*, s. 14.

<sup>51</sup> Tak zwany SEBI 2010 Indicators (SEBI – *The Streamlining European Biodiversity Indicators*).

<sup>52</sup> *Streamlining European biodiversity indicators 2020: Building a future on lessons learnt from SEBI 2010 process*, EEA Technical report No. 11/2012, European Environment Agency, Copenhagen 2012.

<sup>53</sup> Biom to zbiorowisko roślin i zwierząt występujących na stosunkowo dużym, zróżnicowanym ekologicznie obszarze.

także stanu zachowania, ich reprezentatywności, wrażliwości oraz efektywności prowadzonych działań ochronnych<sup>54</sup>.

Zmiany liczebności wybranych gatunków ptaków (z różnych rodzin) są stosowane jako miary bioróżnorodności przez Eurostat. Jeśli chodzi o ścisłość, pod uwagę bierze się gatunki ptaków typowe dla terenów uprawnych i dla kompleksów leśnych. Ponadto, uwzględnia się różnice w rozmieszczeniu geograficznym ptaków – dla każdego kraju jest sporządzana liczba monitorowanych gatunków<sup>55</sup>. Na tej podstawie wyliczane są 3 wskaźniki pozwalające na określenie procentowej zmiany liczebności: dla ptaków typowych dla terenów uprawnych (36 gatunków), ptaków leśnych (29-33) oraz wskaźnik obejmujący wszystkie monitorowane gatunki (136-149). Za rok bazowy przyjęto 2000 i wszystkie zmiany są mierzone w odniesieniu do tego roku<sup>56</sup>. Ponadto bioróżnorodność w państwach europejskich, zgodnie z metodyką Eurostatu, jest mierzona także w oparciu o utworzone obszary chronione, a ściślej – obszary Natura 2000 tworzone zgodnie z dyrektywą siedliskową (SOO). Pod uwagę brany jest udział procentowy tych obszarów w powierzchni danego kraju, zarówno w odniesieniu do obszarów lądowych jak i morskich. Trzecim elementem mierzonym przez Eurostat jest połów ryb przez kraje Unii Europejskiej w Północno-Wschodnim Atlantyku powyżej granic bezpieczeństwa ekologicznego.

Zmiany występowania poszczególnych gatunków (typowych dla danych ekosystemów) są również wykorzystywane przez WWF przy konstruowaniu miary LPI – *Living Planet Index*, tak zwanego wskaźnika życia planety. W tym wypadku zmiany zachodzące w występowaniu gatunków są porównywane ze stanem środowiska z 1970 roku. *Living Planet Index* umożliwia monitoring środowiska, na bazie pomiaru liczebności populacji kręgowców. Badanie jest prowadzone na podstawie 9014 populacji 2688 gatunków ssaków, ptaków, gadów, płazów i ryb, żyjących zarówno w strefie klimatu umiarkowanego, jak i podzwrotnikowego. Globalny indeks LPI jest wypadkową trzech wskaźników: LPI dla terenów lądowych, morskiego LPI oraz LPI dla wód słodkich. W raporcie są także zamieszczone zmiany liczebności wybranych gatunków. Z raportu przygotowanego przez WWF w 2012 roku wynika, że znacząco zmniejsza się liczebność gatunków w strefie podzwrotnikowej (o 62% w stosunku do stanu w roku 1970), a liczebność badanych populacji dla strefy klimatu umiarkowanego rośnie (wzrost o 31%). W tym drugim wypadku wzrasta liczebność badanych gatunków ptaków oraz niektórych waleni<sup>57</sup>.

<sup>54</sup> *Streamlining European biodiversity indicators 2020: Building a future on lessons learnt from SEBI 2010 process*, EEA Technical report No 11/2012, European Environment Agency, Copenhagen 2012.

<sup>55</sup> Poza listą na poziomie europejskim wykorzystuje się listy gatunków na poziomie krajowym. Najmniej monitorowanych gatunków ptaków typowych dla terenów uprawnych jest w Norwegii (7), Finlandii (9) i Irlandii (9), najwięcej – na Węgrzech (22), w Polsce (23), Hiszpanii (25) i we Włoszech (27).

<sup>56</sup> [www.epp.eurostat.ec.europa.eu](http://www.epp.eurostat.ec.europa.eu) [30-09-2013].

<sup>57</sup> *Living Planet Report 2012. Biodiversity, biocapacity and better choices*, WWF, [www.panda.org](http://www.panda.org) [20-11-2013].

Poza WWF, bioróżnorodność na poziomie kontynentu lub całego świata mierzą także: *The European Topic Centre on Biodiversity*, *Global Biodiversity Information Facility* (GBiF) oraz *Group on Earth Observation Biodiversity Observation Network* (GEO-BON), które podjęły próbę ujednoczenia standardów wykorzystywanych do monitoringu i oceny bioróżnorodności<sup>58</sup>. Poza wyżej wymienionymi metodami oceny, próbuje się również powiązać stan zachowania bioróżnorodności z kwestiami społeczno-ekonomicznymi. Dość często stosowana jest metoda WTP (ang. *Willingness to Pay*)<sup>59</sup>, choć trzeba pamiętać, że jej wyniki (jak i rezultaty metody WTA – *Willingness to Accept*) są obarczone pewnymi błędami<sup>60</sup>.

Interesujący sposób pomiaru bioróżnorodności na poziomie państw, z uwzględnieniem czynników ekonomicznych zaproponowali G.E. Halkos, N.G. Tzemes. Zbadali oni relację między poziomem zachowania bioróżnorodności a populacją wybranych państw, emisją CO<sub>2</sub>, PKB *per capita* i współczynnikiem Giniego (wskaźnikiem nierówności społecznej). Do analizy wykorzystali następujące zmienne<sup>61</sup>:

- wskaźnik całkowitej produkcji rolnej – ze względu na to, iż rolnictwo wiąże się obecnie z powszechnym wykorzystaniem nawozów, środków ochrony roślin, często zmianą upraw, co wiąże się ze zmianami w środowisku przyrodniczym i wpływa negatywnie na zachowanie bioróżnorodności;
- intensywność wykorzystania energii w branżach gospodarki – z uwagi na to, iż często im wyższe zużycie energii to większe zakłócenia pojawiają się w środowisku (zwiększa się defragmentacja krajobrazu, poziom urganizacji, intensywnie pozyskuje się energię z różnych źródeł, pojawiają się zmiany klimatyczne);
- udział procentowy obszarów chronionych (kluczowych dla zachowania bioróżnorodności) w całkowitej powierzchni kraju.

Na poziomie państw i wyższym, różnorodność biologiczna również może być oceniana w różny sposób. Generalnie jednak, podobnie jak na niższym poziomie, bada się wybrane gatunki lub ekosystemy i dokonuje porównań międzynarodowych. Co interesujące, są podejmowane próby dotyczące nie tylko oceny przyrody ożywionej *sensu stricte*, ale niektórzy autorzy starają się także wycenić różnorodność biologiczną lub próbują określić relację między stanem zachowania bioróżnorodności a klasycznymi miarami społeczno-gospodarczymi.

<sup>58</sup> R.H.G. Jongman, *Biodiversity observation from local to global*, "Ecological Indicators" 2013 t. 33.

<sup>59</sup> G. Emm. Halkos, N.G. Tzemes, op. cit.

<sup>60</sup> P. Jeżowski, *Metoda deklarowanych preferencji na tle metod analizy i wyceny wartości ekologicznych*, w: *Ocena i wycena zasobów ....*

<sup>61</sup> G. Emm. Halkos, N.G. Tzemes, op. cit.

## Podsumowanie

Spośród wielu stosowanych miar i wskaźników bioróżnorodności na różnych poziomach: od genetycznego, przez gatunkowy po ekosystemowy, w artykule przedstawiono wybrane. Najczęściej różnorodność biologiczna jest mierzona na poziomie gatunkowym. Przy ocenie bioróżnorodności najczęściej bada się wybrane gatunki wskaźnikowe (zwierzęta i rośliny) – albo te powszechnie występujące, albo rzadkie (zagrożone, często objęte ochroną prawną) lub też skład gatunkowy danego zbiorowiska (lub ekosystemu). Wydaje się, że dla pełnego obrazu sytuacji należałoby również monitorować występowanie gatunków obcych wprowadzonych (celowo lub nie) przez człowieka, które często wypierają gatunki rodzime, zakłócając równowagę ekosystemów.

Ocena prowadzona w skali lokalnej daje podstawy do oceny bioróżnorodności w skali regionalnej, na poziomie kraju, kontynentu lub nawet całego świata. Należy jednak pamiętać, iż część metod jest uznawana za pracochłonne i (lub) subiektywne, część opisuje tylko wybrane parametry, pomijając inne. Badanie pojedynczego wskaźnika (parametru) nie daje więc pełnego obrazu sytuacji. Badając bioróżnorodność należałoby stosować kilka różnych metod, które wzajemnie by się uzupełniały.

Głównym celem prowadzonych badań jest ocena stanu zachowania bioróżnorodności (na którą wpływa wiele różnych czynników, w tym i te związane z gospodarką prowadzoną przez człowieka), co daje podstawy do zaplanowania odpowiednich działań prowadzących do poprawy stanu zachowania środowiska. Trzeba jednak pamiętać, iż istotną kwestią, poza kompleksowością badań nad bioróżnorodnością jest ich ciągłość. Jongman zwraca uwagę na fakt, że badania w poprzednich okresach dotyczyły zazwyczaj obszarów cennych przyrodniczo (przykładowo parków narodowych), nie były prowadzone w sposób systematyczny i przy zastosowaniu ujednoliconej metodyki. Obecnie tego typu monitoring i pomiar nie są prowadzone w sposób skoordynowany<sup>62</sup>. Konstatując można stwierdzić, że w praktyce stosuje się wiele metod oceny bioróżnorodności, prostych i bardziej skomplikowanych, na różnych poziomach, jednak dopiero od niedawna podejmowane są próby ich ujednolicania.

<sup>62</sup> R.H.G. Jongman, op. cit.