

# Problemy badawcze georóżnorodności w geoturystyce

## Geodiversity research problems in geotourism

Krzysztof Miśkiewicz

Katedra Geologii Ogólnej, Ochrony Środowiska i Geoturystyki, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica,  
e-mail: krzysztof.miskiewicz@agh.edu.pl

**Treść:** Bogactwo i zróżnicowanie fizycznych cech przyrody określane mianem georóżnorodności jest nowym zagadnieniem badawczym w naukach o Ziemi. Coraz częściej analizowane jest pod kątem przydatności w badaniach stanu środowiska przyrodniczego i wpływu budowy geologicznej i geomorfologii na bioróżnorodność. Definicja oraz metodyka badań georóżnorodności jest niejednoznaczna i ciągle podlega dyskusji. W artykule zebrano dotychczasową wiedzę w tym zakresie i przedstawiono zastosowanie oceny georóżnorodności w geoturystyce eksponując problemy badawcze z tym związane.

**Słowa kluczowe:** georóżnorodność, nauki o Ziemi, metodyka badań, geoturystyka.

**Abstract:** The richness and diversity of physical features of nature known as geodiversity is a new issue of research in geosciences. Increasingly, it is analyzed in terms of usefulness in the study of the natural environment and impact of geology and geomorphology on biodiversity. The definition and methodology of geodiversity is ambiguous and still subject to discussion. The article summarized current knowledge in this field and presents the application of the assessment of geodiversity in geotourism emphasizing research problems associated with it.

**Key words:** geodiversity, geosciences, research methodology, geotourism.

## Wstęp

W metodyce nauk o Ziemi podstawowym zadaniem badawczym jest analiza procesów i składników przyrodniczych. Prace naukowe koncentrują się na ich definiowaniu, charakteryzowaniu i klasyfikowaniu, pomiarze i waloryzacji jakościowej i ilościowej, ocenie zagrożeń i ochronie najbardziej wartościowych elementów, zarządzaniu i planowaniu oraz badaniu wzajemnych relacji. Etapem eksperckim rozpoznania środowiska przyrodniczego jest ocena jego niejednorodności dla różnych celów. Jest to obecnie jedno z najdynamiczniej rozwijających się problemów badawczych nauk przyrodniczych, związane z zapotrzebowaniem na informację o stanie środowiska (Kot, 2006). Istnieje jednak duża dysproporcja pomiędzy postępem badań nad zróżnicowaniem biotycznym i abiotycznym. To ostatnie wkracza dopiero we wstępną fazę teoretycznych rozważań badaczy, jak również praktycznego zastosowania badań (m.in. Ibáñez i in., 1995; Jedicke, 2001; Mizgajski, 2001; Kozłowski, 2004; Stanley, 2004; Serano, Ruiz-Flaño, 2007; Gray, 2004, 2008).

Geoturystyka korzysta z osiągnięć nauk geologicznych opierając się na unikalnych walorach przyrody nieożywionej (Hose, 1995; Słomka, Kicińska-Świdorska, 2004; Dowling, Newsome, 2006). Wypromowanie geostanowisk w formie

produktu turystycznego wymaga przeprowadzenia waloryzacji opartej o określone kryteria. Jednym z nich jest bogactwo i zróżnicowanie fizycznych cech przyrody.

## Koncepcja georóżnorodności

Różnorodność jest podstawowym atrybutem środowiska przyrodniczego (McIntosh, 1967). Biotyczne zróżnicowanie naturalnych komponentów określane jest mianem bioróżnorodności, a bardziej poprawnie - różnorodności biotycznej (ang. biodiversity). Choć definicja bioróżnorodności nie jest jednoznaczna, najczęściej określa się ją jako zmienność genetyczną, gatunkową i ekosystemową przyrody (Adamski, 2007; Pullin, 2007).

Georóżnorodność (ang. geodiversity) jest pojęciem wprowadzonym do literatury znacznie później niż bioróżnorodność, bo prawdopodobnie na początku lat dziewięćdziesiątych (za Burek, Potter, 2006). W literaturze tematu występuje wiele kontekstów badań nad georóżnorodnością, jej rozumienia i rozpatrywania:

1) kontekst ochrony zróżnicowania przyrody nieożywionej (geochrona) – ten kierunek pojawił się najwcześniej i warunkował dalszy rozwój badań nad georóżnorodnością; zapoczątkowany w Australii (Sharples, 1993, 1995), rozwija się systemowo również w Polsce (np. Kozłowski, 1997; Alexandrowicz, Poprawa, 2000; Gawlikowska, 2000; Wróblewski, 2000; Alexandrowicz i in., 2004; Kozłowski in., 2004b; Alexandrowicz, 2006),

2) kontekst geologiczny (Mizgajski, 2001) – najczęściej georóżnorodność to zróżnicowanie budowy geologicznej, form terenu i gleb oraz procesów zachodzących między nimi (Gray, 2004); taka definicja została umieszczona w raporcie Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody IUCN – *Geological World Heritage: a Global Framework* (Dingwall i in., 2005),

3) kontekst geologiczno-antropogeniczny – gdzie georóżnorodność to *naturalne zróżnicowanie powierzchni Ziemi obejmujące aspekty geologiczne, geomorfologiczne, glebowe, wody powierzchniowe oraz systemy ukształtowane w wyniku naturalnych procesów (endo- i egzogenicznych) i działalności człowieka* (Kozłowski i in., 2004a, 2004b),

4) kontekst holistyczny – traktuje georóżnorodność jako zróżnicowanie wszystkich abiotycznych elementów przyrody będących podstawą bioróżnorodności, a te dwa elementy określa jako ekoróżnorodność (Jedicke, 2001); georóżnorodność tutaj to zmienność czynników i komponentów litosfery, rzeźby terenu, pedosfery, hydrosfery oraz atmosfery; sze-

rzej rozumiane jako łącznik krajobrazu, człowieka i wytworów jego kultury (Stanley, 2004),

5) kontekst geograficzny – gdzie georóżnorodność określana jest jako zróżnicowanie geokompleksów i geokomponentów na danym obszarze stanowiąc o różnorodności krajobrazowej obok bioróżnorodności i dziedzictwa kulturowego (Kostrzewski, 1998; Mizgajski, 2001),

6) kontekst antropocentryczny – który rozpatruje różnorodność przyrody nieożywionej ze względu na jej znaczenie dla człowieka w szerokim aspekcie ekologicznym, gospodarczym, społecznym, estetycznym i innym (Guthrie, 2005); ten kontekst łączony jest również z ideą zrównoważonego rozwoju (Mizgajski, 2001),

7) kontekst pomiaru zróżnicowania abiotycznego – georóżnorodność jako pojęcie abstrakcyjne i niemierzalne ilościowo (Gonera, 2005) lub podlegające takim pomiarom w różnym zakresie i dla różnych celów (m.in. Burnett i in., 1998; Nichols i in., 1998; Kozłowski i in., 2004b; Müller i in., 2004; Saldaña, Ibáñez, 2004; Bartley, Rutherford, 2005;

Ibáñez i in., 2005; Alexandrowicz i in., 2006; Kot 2006; Jačková, Romportl, 2008; Miškiewicz i in., 2008; Benito-Calvo i in., 2009).

Poszczególne składowe georóżnorodności klasyfikowane są w zależności od zakresu i celu przeprowadzanych badań. Jedną z takich klasyfikacji przedstawiono z uwzględnieniem potrzeb geoturystyki (Tab. 1). Za najistotniejsze uznano cechy litologiczne, geomorfologiczne i hydrologiczne wraz z procesami je kształtującymi. Georóżnorodność względna danego obszaru będzie zatem sumą wszystkich tych cech widocznych na powierzchni terenu.

## Pomiar zróżnicowania abiotycznego przyrody

Ocena abiotycznych elementów przyrody jest przedmiotem badań geochrony (m.in. Alexandrowicz, 1989; Alexandrowicz i in., 1992; Otęska-Budzyn, 1992; Nita, Nita, 1994; Alexandrowicz, 2006; Radwanek-Bąk, 2007). Obecnie zastoso-

Tabela 1. Propozycja zakresu georóżnorodności w analizach geoturystycznych.

Klasyfikacja cech		Nazwy cech	Liczba cech		
I. Materia i jej cechy	A. Litoróżnorodność	A1. Nazwa wydzielenia litostratygraficznego	1a. Nazwy typów skał	1b. Liczba typów skał	
		A2. Minerale, związki, substancje	2a. Nazwy minerałów i ich związków	2b. Liczba typów minerałów i ich związków	
		A3. Makro i mikro fauna i flora kopalna	3a. Nazwy grup skamieniałości	3b. Liczba grup skamieniałości	
		A4. Struktury i tekstury	4a. Nazwy typów struktur i tekstur	4b. Liczba typów struktur i tekstur	
		A5. Formy tektoniczne	5a. Nazwy form tektonicznych	5b. Liczba form tektonicznych	
		A6. Inne cechy widoczne makroskopowo	6a. Nazwy innych cech	6b. Liczba innych cech	
				Sumaryczna ilość wszystkich cech – punktacja dla wydzielenia litostratygraficznego	
	B. Geomorforóżnorodność	B1. Naturalne formy rzeźby	1a. Nazwy form rzeźby	1b. Liczba typów form rzeźby	
		B2. Antropogeniczne formy rzeźby	2a. Nazwy form rzeźby	2b. Liczba typów form rzeźby	
	C. Hydroróżnorodność	C. Formy hydrologiczne	a. Nazwy form hydrologicznych	b. Liczba form hydrologicznych	
	II. Procesy geologiczne i ich efekty	A. Endogeniczne	A1. Diastrofizm	Nazwy procesów	Liczba procesów, których efekty są widoczne w terenie
			A2. Magmatyzm		
			A3. Metamorfizm		
B. Egzogeniczne		B1. Wietrzenie			
		B2. Erozja			
		B3. Ruchy masowe			
		B4. Sedymentacja			

wanie takich ocen jest różnorodne, a kryteria waloryzacji stają się coraz bardziej rozbudowane (Pereira i in., 2007; Reynard i in., 2007; Erikstand i in., 2008). Opracowania te mają duże znaczenie dla geoturystyki, gdyż stanowią bazy danych geostanowisk, które mogą stać się obiektami geoturystycznymi, a także dają podstawy metodyczne dla tego typu opracowań.

Procedury oceny samej georóżnorodności najczęściej dotyczą określonego spektrum jej elementów (np. Kot, 2006) lub poszczególnych składowych abiotycznych tj. pedoróżnorodności (np. Ibáñez i in., 1995, 2005; Saldaña, Ibáñez, 2004) czy geomorforóżnorodności, która badana jest w odniesieniu do bioróżnorodności (np. Burnett i in., 1998; Nichols i in., 1998; Margielewski, Alexandrowicz, 2004; Müller i in., 2004; Bartley, Rutherford, 2005; Jačková, Romportl, 2008).

Jedną z podstawowych metod szacowania georóżnorodności w geoturystyce może być metoda bonitacji, która jest stosowana w geografii, a także w turystyce (Kot, 2006; Runge, 2007). Polega ona na przypisywaniu określonym cechom wartości punktowych, a ostateczną ocenę uzyskuje się poprzez zsumowanie tych wartości z zastosowaniem przyjętej skali ocen (Fig. 1). Badane obszary dzielone są na tzw. pola podstawowe, czyli sztucznie wydzielone jednostki terenu, dla których określa się różnorodność elementów naturalnych za pomocą miar ilościowych uwzględniając niekiedy wzory matematyczne (Tab. 2). Jednakże jak wykazano, miary te mają wady metodologiczne i jak dotąd nie opracowano jednej, uniwersalnej miary różnorodności (Kot, Leśniak, 2006).

Na obliczenie całkowitej georóżnorodności danego obszaru zaproponowano wzór matematyczny opracowany przez Serrano, Ruiz-Flaño (2007):

$$Gd = Eg R / \ln S,$$

gdzie  $Eg$  oznacza liczbę zdefiniowanych na badanych obszarze cech fizycznych,  $R$  tzw. to współczynnik nierówności, a  $S$  to powierzchnia badanego obszaru. Najtrudniejszy do zdefiniowania jest współczynnik  $R$ , który został wprowadzony zapewne dla zróżnicowania wartości terenu ze względu na stopień heterogeniczności morfologicznej.

## Dyskusja

We wczesnej fazie rozwoju geoturystyki jako dziedziny badawczej, najistotniejsze jest wypracowanie metodycznych jej podstaw. Szczególnie ważna wydaje się ocena zróżnicowania abiotycznych komponentów przyrody. Im wyższa różnorodność dla danego obszaru, tym bardziej jest on atrakcyjny geoturystycznie.

W oparciu o dotychczasowe opracowania odnoszące się do waloryzacji przyrodniczej (Alexandrowicz i in., 1992; Nita, Nita, 1994; Kot, 2006), proponuje się następującą metodykę oceny georóżnorodności dla celów geoturystycznych:

1. Sporządzenie inwentarzu georóżnorodności (lito-, geomorfo- i hydroróżnorodności) na podstawie literatury oraz obserwacji terenowych, według ustalonego schematu (np. Tab. 1).
2. Przygotowanie mapy georóżnorodności badanego obszaru (na podstawie opublikowanych materiałów, uaktualnionych badaniami terenowymi).
3. Wybór wielkości pola podstawowego w odniesieniu do skali mapy.

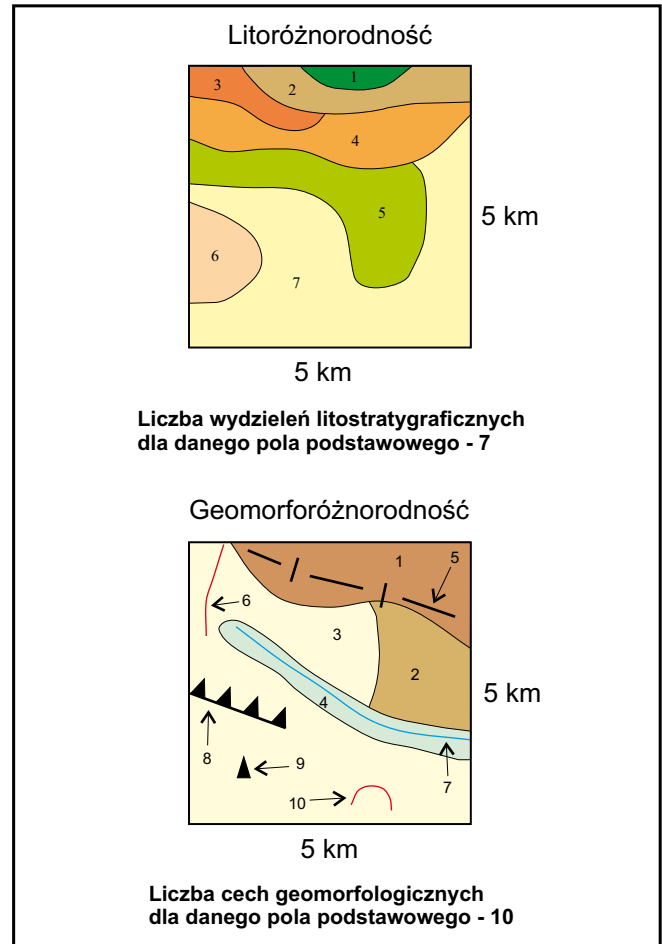


Fig. 1. Ocena georóżnorodności metodą bonitacji punktowej - przykłady • Assessment of geodiversity by ranking method – examples

4. Nałożenie siatki pól podstawowych na mapę obszaru.
5. Ocena georóżnorodności każdego pola podstawowego wybraną metodą badawczą.
6. Wizualizacja oceny zróżnicowania abiotycznego.
7. Wyznaczenie najkorzystniejszych miejsc do celów geoturystycznych tj. obiekty geoturystyczne, trasa geoturystyczna, usytuowanie tablic informacyjnych, wytypowanie stanowisk, dla których istnieje możliwość ingerencji mechanicznej – np. użycia młotka geologicznego dla celów dydaktycznych itp.
8. Syntetyczne omówienie trasy geoturystycznej.

Z powyższymi czynnościami związane są pewne problemy metodyczne. Punkt 1 decyduje o zakresie georóżnorodności uwzględnionej w dalszych badaniach. Uzyskanie pełnego opisu (pełnej georóżnorodności) wymagałoby przeprowadzenia wszystkich możliwych badań geologicznych, a i to nie wyczerpywałoby zagadnienia, gdyż nie wszystkie cechy przyrodnicze są nam znane i dostępne do badań. Konieczne jest zatem wprowadzenie ograniczenia ilości tych cech do konkretnej liczby, która wynika z subiektywnego wyboru. Powinien on jednak być uwarunkowany celem prowadzonej oceny, dlatego na tym etapie procedury wyselekcjonować należy tylko cechy przydatne dla celów dydaktycznych, a tym samym geoturystycznych. Są to cechy dobrze widoczne makroskopowo, a więc czytelne w terenie. Taką georóżnorod-

Tabela 2. Zestawienie ilościowych miar środowiska przyrodniczego (na podstawie Kot, Leśniak 2006 i literatura tamże)

Lp	Rodzaj miary	Nazwa miary	Wzór	Opis
1	Miary rozdrobnienia	Entropia (indeks różnorodności Shannona)	$H = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i$	Stopień zrównoważenia powierzchniowego podziału na cechy
2		Dominacja	$D = \ln n - H$	Ile brakuje do maksymalnej entropii
3		Entropia względna	$H_{wzgl} = \frac{H}{\ln n}$	Stopień względnej jednorodności przy wartości maksymalnej równej 1
4		Redundancja	$R = 1 - H_{wzgl}$	Stopień względnej jednorodności przy wartości minimalnej równej 0 niezależnie od liczby cech
5		Entropia „jednostkowa”	$H_{jed} = -\sum_{i=1}^m q_i \cdot \ln q_i$	Równomierność rozkładu liczby jednostek wśród poszczególnych typów
6		Liczba typów	-	Zróżnicowanie wyrażone liczbowo
7		Względne bogactwo	$R_{wzgl} = \frac{Lt}{Lt_{max}} \cdot 100\%$	Zróżnicowanie wyrażone procentowo
8		Fragmentacja jednostkowa	$F_{jed} = \frac{Lt}{L_j}$	Względne zróżnicowanie typów
9	Miary powiązań i zależności	Wskaźnik zróżnicowania granic	$JJI = \frac{-\sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n [E_{ik} \cdot \ln E_{ik}]}{\ln\left(\frac{n(n-1)}{2}\right)}$	Stopień zrównoważenia wspólnej długości granic pomiędzy typami jednostek
10		Macierz koincydencji	$M = [v_{ij}]_{i,j} = 1,2,\dots,n$	Występowanie wzajemnych granic pomiędzy typami
11		Macierz krotności koincydencji	$M_{kr} = [w_{ij}]_{i,j} = 1,2,\dots,n$	Występowanie wzajemnych granic pomiędzy typami z uwzględnieniem wielokrotności tych granic
12		Liczba powiązań	$IL = \sum_{i<j}^n v_{ij}$	Ilość wspólnych granic
13		Suma krotności powiązań	$S_{kr} = \sum_{i,j}^n w_{ij}$	Suma wszystkich granic między jednostkami
14		Jednostkowy wskaźnik zwartości	$CI = \frac{-\sum_{1 \leq i < j \leq n} q_{ij} \cdot \ln q_{ij}}{\ln\left(\frac{n(n-1)}{2}\right)}$	Stopień zrównoważenia liczby połączeń jednostek różnych typów
15	Miary kształtowe	Wskaźnik gęstości granic	$G = \frac{L}{P}$	Stopień rozwinięcia granic pomiędzy jednostkami
16		Wymiar fraktalny rozwoju granic	$Dim = \frac{\ln s}{\ln l}$	Względny rozwój granic pomiędzy jednostkami
17		Iloraz rozwoju granic	$\gamma = \frac{s}{l}$	Względny rozwój granic pomiędzy jednostkami

**Objaśnienia do wzorów**

- |     |  |     |  |
|-----|--|-----|--|
| n   | liczba typów (Lt)  | wij | liczba jednostek j-tego typu przylegających do jednostek i-tego typu |
| m   | liczba jednostek (Lj)  | qij | prawdopodobieństwo połączenia i z j                                  |
| pi  | % powierzchni jaki zajmuje i-ta cecha lub prawdopodobieństwo wystąpienia i-tej cechy   | L   | łączna długość wszystkich granic pomiędzy wydzielonymi jednostkami   |
| qi  | liczba jednostek i-tego typu na liczbę jednostek Lj                                    | P   | całkowita powierzchnia pola podstawowego                             |
| Eik | względna długość wspólnej granicy między i-tym, a k-tym typem                          | l   | iloraz długości granic   |
| vij | 1, gdy typ i-ty sąsiaduje z typem j-tym (mają wspólną granicę), w przeciwnym wypadku 0 | s   | liczba pól podstawowych  |

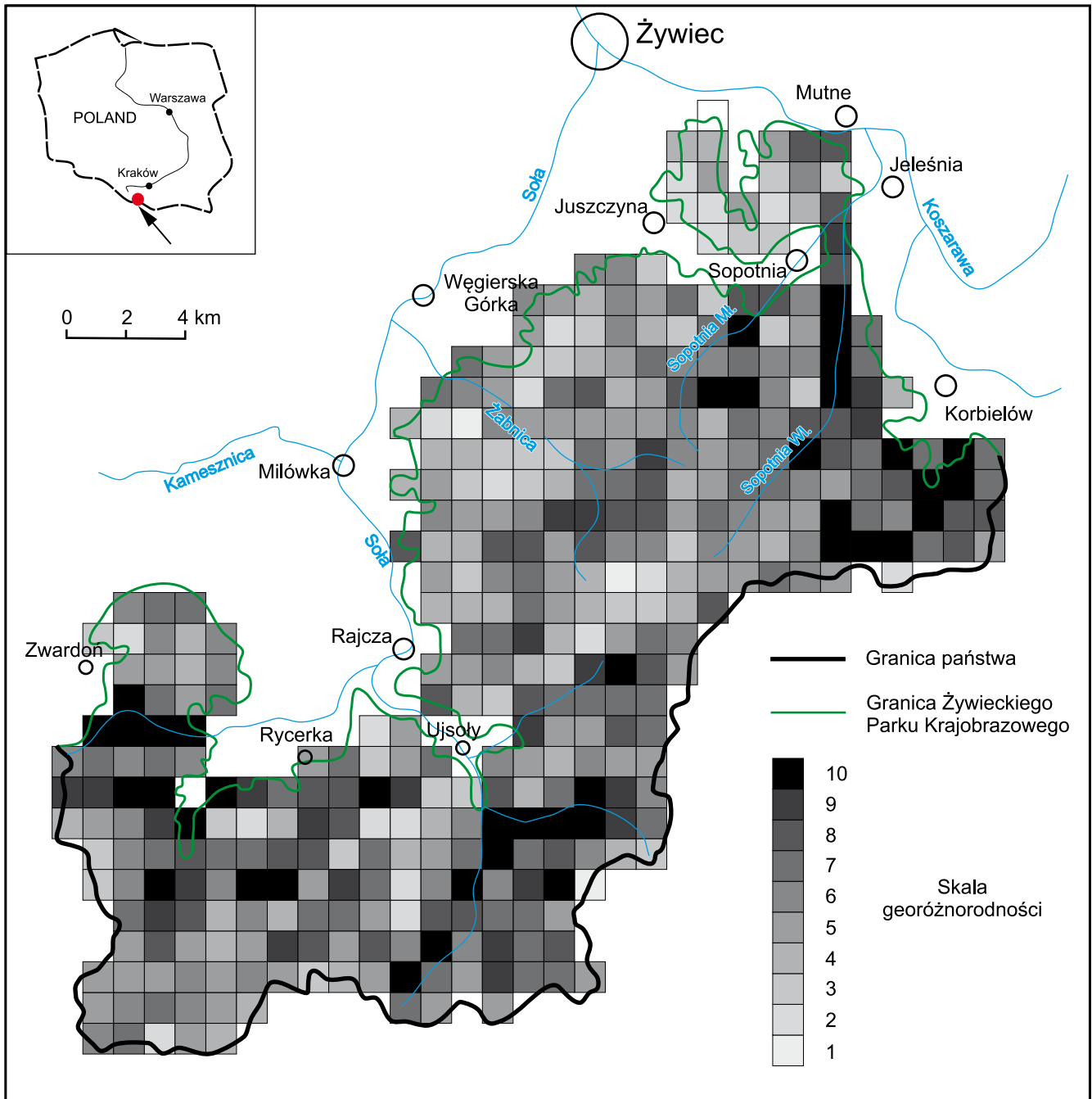


Fig. 2. Wynik bonitacji punktowej przeprowadzonej dla Żywieckiego Parku Krajobrazowego na podstawie map geologicznych 1: 50 000  
 • The result of ranking performed for Żywiecki Landscape Park on the basis of geological maps 1: 50 000

ność można nazwać georóżnorodnością makroskopową lub georóżnorodnością względną. Dodatkowo można uwzględnić niektóre cechy mikroskopowe tj. mikroskamieniałości czy mikrostruktury, które po odpowiedniej interpretacji mogą być również produktem turystycznym.

Mapa georóżnorodności (punkt 2 procedury) nie została jak dotąd zaprojektowana. Wydaje się, że najkorzystniej taką mapę opracować z zastosowaniem narzędzi GIS używając wielu różnych warstw w postaci map geologicznych, geomorfologicznych, tektonicznych, hydrogeologicznych itp. w tej samej skali. Trudnością może być wybór pomiędzy mapami geologicznymi odkrytymi i zakrytymi, jak również zastosowany zakres wizualizowanych danych, a tym samym upraszczanie faktów. Dużo łatwiej jest wygenerować zbiorczą mapę

oceny georóżnorodności stosując przyjętą skalę wartościowania (np. Fig. 2).

Kolejnym problemem jest wybór pola podstawowego (punkt 3 procedury). Pole takie może mieć różne kształty i wielkości, może być naturalne lub sztuczne. Nie ustalono jednej metodyki w odniesieniu do tego zagadnienia jednak najczęściej stosuje się kwadrat jako pole podstawowe (Kot, 2006; Fig. 1). Trudności metodyczne wynikają z przecinania naturalnych granic siatką takich pól, a także z dowolności zmian położenia względem obszaru badań oraz wielkości kwadratu. W przypadku map geologicznych można zastosować naturalne granice litologiczne jako pola podstawowe i dla poszczególnych wydzielen litostratygraficznych obliczać ich różnorodność.



Punkt 5 jest najistotniejszy w całej procedurze i jednocześnie najbardziej kontrowersyjny. Ocena jakości środowiska przyrodniczego jest niezwykle trudna. Często stosowana metoda bonitacyjna ma zarówno zwolenników jak i przeciwników (Kot, 2006). Problemy wynikają z nadawania różnej ilości punktów danym cechom (a więc subiektywnemu wartościowaniu), nieporównywalności obiektów punktowych, liniowych i obszarowych, różnicowaniu punktacji lub jej braku w zależności od powierzchni cechy, itp.

Wszystkie cechy geologiczne zaobserwowane na badanym obszarze i nadające się do interpretacji geoturystycznej (tzn. są widoczne w momencie badania) powinny być sumowane. Każda cecha powinna mieć tę samą rangę, co eliminuje subiektywność oceny. Wadą tego założenia może być sprowadzanie do wspólnego mianownika różnych jakości. Dodatkowo punktowane powinny być typowe odsłonięcia skał, stratotypy, punkty widokowe, makroskamieniałości itp. Takie cechy mają szczególną wartość dydaktyczną. Problematyczne wydaje się wartościowanie obszaru ze względu na zróżnicowanie nachyleń stoku. Taki parametr (współczynnik nierówności) próbuje się jednak wprowadzać do ogólnej oceny georóżnorodności (Serrano, Ruiz-Flaño, 2007).

Wizualizację wyników analiz (punkt 6 procedury) najczęściej przedstawia się za pomocą histogramów (Fig. 2). Problemem jest wyznaczenie skali wartościowania: np. 3-stopniowa (niska, średnia, wysoka georóżnorodność), 5-stopniowa (bardzo niska, niska, średnia, wysoka, bardzo wysoka georóżnorodność), 10-stopniowa itp. Trudno określić na podstawie jakich kryteriów przyjmować taką skalę, która powinna być niewątpliwie ujednotwiona, aby móc porównywać różne obszary.

Na podstawie powyższych danych można wyznaczyć miejsca o dużym potencjale geoturystycznym (punkt 7 procedury). Uwzględnić należy następujące kryteria:

- miejsca o wysokiej georóżnorodności (można je nazwać węzłami georóżnorodności),
- występowanie odsłoneń geologicznych i czytelnych form geomorfologicznych,
- obszary i obiekty chronione, proponowane do ochrony lub zasługujące na ochronę,
- istniejące trasy i obiekty turystyczne,
- dostępność do zwiedzania.

Ostateczne opisanie trasy geoturystycznej (punkt 8 procedury) wymaga pewnych uogólnień i uproszczeń, tak aby informacja mogła być wykorzystana w celach dydaktycznych. Proponuje się następujący schemat opisu:

- a. Klasyfikacja obiektów geoturystycznych: numer/nazwa/położenie obiektu oraz typ obiektu.
- b. Typowe zagadnienia geologiczne: wiek form i procesów, litologia, paleogeografia, środowisko powstania, struktury sedymentacyjne, skamieniałości, geomorfologia, tektonika, hydrologia, procesy naturalne i ich efekty.
- c. Wpływ obiektów i procesów geologicznych na środowisko naturalne.
- d. Wpływ i wykorzystanie przez człowieka.
- e. Dostępność do zwiedzania i ochrona.

Georóżnorodność aspiruje do rangi nowego paradygmatu w naukach o Ziemi (Gray, 2008). Obecna, wczesna faza dyskusji nad tym zagadnieniem powinna wzbogacić zakres kompleksowych badań przyrodniczych. Badania takie istotne będą przy planowaniu przestrzennym, na które składa się m.in. wyznaczanie obszarów chronionych, obszarów geoturystycznych czy geoparków. Standaryzacja procedur będzie sprzyjać rozwojowi tych badań.

*Praca finansowana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.140.447.*

## Summary

### Problems of geodiversity research in geotourism

Evaluation of heterogeneity has recently become one of the leading research problems in natural sciences (Kot, 2006). However, there is a distinct gap between the progress in studies on biotic and abiotic diversities. The latter field of scientific interest is now at the initial stage of theoretical considerations and their preliminary practical applications (see e.g., Ibáñez et al., 1995; Jedicke, 2001; Mizgajski, 2001; Kozłowski, 2004; Stanley, 2004; Serano, Ruiz-Flaño, 2007; Gray, 2004, 2008).

Geotourism takes advantage of geological sciences as it is based on the unique values of abiotic nature (Hose, 1995; Słomka, Kicińska-Świdorska, 2004; Dowling, Newsome (eds.), 2006). Among the evaluation criteria of these values are abundance and diversity of physical features of the nature.

#### The concept of geodiversity

Diversity is a principal attribute of the natural environment (McIntosh, 1967). Biodiversity is defined as genetic, ge-

neric and ecosystemic variability of the nature (Adamski, 2007; Pullin, 2007). Geodiversity has been introduced into the scientific literature much later than biodiversity, presumably in the early 1990-ties (see Burek, Potter, 2006). It is not surprising that there are many ways of understanding of this term, many interpretations and many contexts of studies on geodiversity:

- 1) the context of protection of abiotic nature diversity (Sharpley, 1993, 1995) – recently under systematic development, also in Poland (see e.g., Kozłowski, 1997; Alexandrowicz, Poprawa (eds.), 2000; Gawlikowska, 2000; Wróblewski, 2000, Alexandrowicz et al., 2004; Kozłowski, et al., 2004b; Alexandrowicz, 2006),
- 2) the geological context (Mizgajski, 2001) – usually, geodiversity is understood as variability of geological structures, landforms, soils and processes (Gray, 2004; Dingwall et al., 2005),
- 3) the geological-anthropogenic context – which includes also the results of human activity (Kozłowski et al., 2004a, 2004b),
- 4) the holistic context – which considers geodiversity as variability of all abiotic elements of the nature (Jedicke, 2001) understood broadly as an amalgamate of landscape, hu-

- mans and products of human culture (Stanley, 2004),
- 5) the geographic context – when geodiversity refers to geo-complexes and geocomponents (Kostrzewski, 1998; Mizgajski, 2001),
  - 6) the anthropocentric context – which considers the diversity of abiotic nature as a factor influencing the human life and mind in terms of ecology, economy, social relationships, aesthetic impressions and others (Mizgajski, 2001; Guthrie, 2005),
  - 7) the context of abiotic diversity measurement – geodiversity is considered as an abstractive idea, immeasurable (Gonera, 2005) or measurable but only to some extent and for various purposes (see e.g., Burnett et al., 1998; Nichols et al., 1998; Kozłowski et al., 2004b; Müller et al., 2004; Saldaña, Ibáñez, 2004; Bartley, Rutherford, 2005; Ibáñez et al., 2005; Alexandrowicz et al., 2006; Kot, 2006; Jačková, Romportl, 2008; Miśkiewicz et al., 2008; Benito-Calvo et al., 2009).

The components of geodiversity are categorized depending on the range and the aim of the research. One of possible categorizations, which takes into account the needs of geotourism, is shown in Table 1. The most important are li-

thologic, geomorphic and hydrologic components along with their formative processes. Thus, the relative geodiversity of given area will be the sum of all these features observed at the Earth surface.

#### Measurement of abiotic nature diversity

One of the scopes of geoconservation studies is evaluation of abiotic elements of the nature (see e.g., Alexandrowicz, 1989; Alexandrowicz et al., 1992; Oteška-Budzyn, 1992; Nita, Nita, 1994; Alexandrowicz, 2006; Radwanek-Bąk, 2007). Recently, such evaluations find various applications and valorization criteria are still modified and expanded (Pereira et al., 2007; Reynard et al., 2007; Erikstand et al., 2008).

One of principal evaluation methods of geodiversity applied to geotourism can be the ranking, which is widely applied in geography and in tourism (Kot 2006; Runge 2007). In this method we attribute numerical values, taken from pre-selected scale, to particular features. The sum of values gives final rank of a geosite (Fig. 1). Evaluated area is divided into unit areas, i.e., aerial units, selected with artificial or natural criteria, for which diversity of natural elements is quantitatively measured, sometimes with the application of mathema-

Table 1. Proposed ranges of geodiversity in geotourist analyses

Klasyfikacja cech		Nazwy cech	Liczba cech	
I. Matter and its features	A. Lithodiversity	A1. Name of lithostratigraphic unit	1a. Names of rock types	1b. Number of rock types
		A2. Minerals, compounds, substances	2a. Names of minerals and compounds	2b. Number of minerals and compounds
		A3. Macro- and microfossils	3a. Names of fossils groups	3b. Number of fossils groups
		A4. Structures and textures	4a. Names of structures and textures	4b. Number of structures and textures
		A5. Tectonic features	5a. Names of tectonic features	5b. Number of tectonic features
		A6. Other macroscopic features	6a. Names of other features	6b. Number of other features
			Sum of all features – ranking for lithostratigraphic member	
	B. Geomorphodiversity	B1. Natural landforms	1a. Names of landforms	1b. Number of landform types
		B2. Anthropogenic landforms	2a. Names of landforms	2b. Number of landform types
	C. Hydrodiversity	C. Hydrologic forms	a. Names of hydrologic forms	b. Number of hydrologic forms
II. Geological processes and their effects	A. Endogenic	A1. Diastrophism	Names of processes	Number of processes which effects are recognizable in the terrain
		A2. Magmatism		
		A3. Metamorphism		
	B. Exogenic	B1. Weathering		
		B2. Erosion		
		B3. Mass movements		
		B4. Sedimentation		

Table 2. List of quantitative measures of natural environment (after Kot, Leśniak, 2006 and references therein)

Lp	Type of measure	Name of measure	Formula	Description of measured feature
1	Measures of fragmentation	Entropy (Shannon's diversity index)	$H = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i$	Degree of evenness of superficial features selection
2		Dominance	$D = \ln n - H$	How much is missing to reach maximum entropy
3		Relative entropy	$H_{wzgl} = \frac{H}{\ln n}$	Degree of relative homogeneity at maximum value = 1
4		Redundancy	$R = 1 - H_{wzgl}$	Degree of relative homogeneity at minimum value = 0 independently on the number of features
5		"Unit" entropy	$H_{jed} = -\sum_{i=1}^m q_i \cdot \ln q_i$	Distribution evenness of the number of units among individual types
6		Number of types	-	Numerical representation of diversity
7		Relative richness	$R_{wzgl} = \frac{Lt}{Lt_{max}} 100\%$	Percentage representation of diversity
8		Unit fragmentation	$F_{jed} = \frac{Lt}{Lj}$	Relative diversification of types
9	Measures of connections and relationships	Interspersion and juxtaposition index	$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n [E_{ik} \cdot \ln E_{ik}]}{\ln\left(\frac{n(n-1)}{2}\right)}$	Degree of evenness of the length of common borders between unit types
10		Coincidence matrix	$M = [v_{ij}]_{i,j} = 1,2,\dots,n$	Occurrence of mutual borders between types
11		Matrix of coincidence multiplicity)	$M_{kr} = [w_{ij}]_{i,j} = 1,2,\dots,n$	Occurrence of mutual borders between types including the multiplicity of borders
12		Number of connections	$IL = \sum_{i<j}^n v_{ij}$	Number of common borders
13		Sum of multiplicity of connections	$S_{kr} = \sum_{i,j}^n w_{ij}$	Sum of all borders between units
14		Contagion index	$Cl = \frac{-\sum_{i \leq j \leq n} q_{ij} \cdot \ln q_{ij}}{\ln\left(\frac{n(n-1)}{2}\right)}$	Degree of evenness of the number of connections between various types of units
15	Shape measures	Edge density index	$G = \frac{L}{P}$	Linear distance of borders between units
16		Fractal dimension	$Dim = \frac{\ln s}{\ln l}$	Relative distance of borders between units
17		Quotient of the distance of borders	$\gamma = \frac{s}{l}$	Relative distance of borders between units

**Explanations:**

- n number of types (Lt)
- m number of units (Lj)
- pi percentage of area occupied by feature or probability of appearance of feature i
- qi number of type i units per number of units Lj
- Eik relative length of common borders between type i and type k
- vij 1, if type i borders type k (i.e., both types have common border)
- wij number of type j units adjacent to type i units
- qij probability of connection between type i and type j units
- L total length of all borders between selected units
- P total surface of unit area
- l quotient of the length of borders
- s number of unit areas



tical formulae (Tab. 2). However, it was evidenced that such measures bear methodological errors although universal methodology has not been developed, as yet (Kot, Leśniak, 2006).

For calculation of total geodiversity of given area the geodiversity index Gd was proposed by Serrano and Ruiz-Flaño (2007):

$$Gd = E_g R / \ln S$$

where  $E_g$  is a number of physical features defined for given unit area,  $R$  is a roughness coefficient of unit area and  $S$  is the surface of unit area. The most difficult to define is the  $R$  coefficient, which represents the morphological heterogeneity of evaluated terrain.

### Discussion

Taking into account the published materials concerning the valorization of the nature (Alexandrowicz et al., 1992; Nita, Nita, 1994; Kot, 2006), the author proposes the following methodology of geodiversity evaluation for the purpose of geotourism: 1) inventorize the geodiversity, according to Table 1; 2) prepare the map of geodiversity of given area; 3) select the unit areas, consistent with the scale of geodiversity map; 4) superimpose the unit areas network onto the geodiversity map; 5) evaluate geodiversity of each unit area using the selected method; 6) visualize the evaluation of abiotic diversity; 7) select the sites most suitable for geotourism; 8) prepare the comprehensive description of geotourist trails.

Such step-by-step solution brings some methodological problems. Point 1 is decisive for the range of appraised geodiversity, which is always affected by subjective thinking. Hence, it is crucial for the whole evaluation process that selected features are well-recognizable in the field, and, thus, these are useful from educational point of view. Geodiversity determined with such methodology can be called the "relative geodiversity". For preparation of geodiversity map (point 2) the GIS tools are irreplaceable. However, some difficulties can be caused by the choice between surface and bedrock geological maps, and by data visualization methods, which always lead to simplification of map contents. Better solution seems to be the geodiversity evaluation map with the preselected valuation scale (e.g., Fig. 2). Another problem is

the selection of unit area (point 3). The unit areas can be of various shapes and sizes, and can be defined basing on natural or artificial criteria. For geological maps the unit areas can be selected using e.g., the lithological boundaries and geodiversity can be calculated for particular lithostratigraphic members (point 4). Point 5 is crucial for the whole procedure and the, simultaneously, is the most controversial because the attribution of numeric values to specific features is a fully subjective process. Moreover, the valuated, point, linear and/or aerial features are incomparable and the size (surface, length) of particular feature can be separately valuated. Generally, each feature should have the same rank scale but application of this principle simply leads us to comparison of essentially different and uncomparable features. Results of valorization (point 6) are usually visualized with histograms (Fig. 2). The problem is the selection of criteria defining the scale of values. Such scale should be unified because we compare various areas.

Valorization based upon the above presented procedure enables us to select the sites with high geotourist potential (point 7). The following criteria should be considered: a) the presence of sites with high geodiversity (for them the term "geodiversity nodes" is proposed), b) the presence of geological outcrops and distinct geomorphological features, c) the presence of areas and objects proposed for protection or deserving protection, d) the existing tourist trails and objects, and e) the accessibility of the whole area and particular geosites.

The final description of geotourist trail (point 8) requires some data generalization and simplification if the information is used for educational purposes. The following description scheme is proposed: a) categorization of geotourist sites: number, name, localization and type, b) basic geological data: age of rocks, structures, landforms and processes, lithology, palaeogeography, formation environment, sedimentary structures, fossils, geomorphology, tectonics, hydrology, natural processes and their results, c) environmental impact of geological processes and sites, d) impact on humans and usage by humans, e) accessibility and protection.

### Literatura (References)

- Adamski, P., 2007. Czym jest bioróżnorodność i jej ekologiczne uwarunkowania. W: Grzegorzczak, M. (ed.), *Integralna Ochrona Przyrody*, Instytut Ochrony Przyrody PAN: 45-49.
- Alexandrowicz, Z., 1989. The optimum system of tors protection in Poland. *Ochrona Przyrody*, 47: 277-308.
- Alexandrowicz, Z., 2006. Framework of European geosites in Poland. *Nature Conservation*, 62 (5): 63-87.
- Alexandrowicz, Z., Kućmierz, A., Urban, J., Otęska-Budzyn, J., 1992. *Waloryzacja przyrody nieożywionej obszarów i obiektów chronionych w Polsce*. Państw. Inst. Geol., Warszawa, 140 pp.
- Alexandrowicz, Z., Poprawa, D. (eds.), 2000. *Ochrona georóżnorodności w polskich Karpatach*. Państw. Inst. Geol., Warszawa, 142 pp.
- Alexandrowicz, Z., Dyduch-Falniowska, A., Mróz, W., 2004. The pattern of geo- and biodiversity conservation in Poland. W: Parkes, M.A. (ed.), *Natural and Cultural Landscape – The Geological Foundation*: 53-56. Royal Irish Academy, Dublin.
- Alexandrowicz, Z., Kozłowski, S., Urban, J., 2006. Geodiversity assessment in Poland applied to the geoconservation framework. ProGEO Symposium: *Safeguarding our Geological Heritage*. 4-8 September 2006, Kyiv and Kamianest-Podil'sky, Ukraine. Volume of Abstracts: 7-8.
- Bartley, R., Rutherford, I., 2005. Measuring the reach-scale geomorphic diversity of streams: application to a stream disturbed by a sediment slug. *River Research and Applications*, 21: 39-59.
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., Meza, P., 2009. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1433-1445.
- Burek, C., Potter, J., 2006. Local Geodiversity Action Plans - Setting the context for geological conservation. *English Nature Research Reports*, No 560.
- Burnett, M.R., August, P.V., Brown, J.H., Killingbeck, K.T., 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. A path-scale perspective. *Conservation Biology*, 12, 2: 363-370.
- Dowling, R., Newsome, D. (eds.), 2006. *Geotourism*. Elsevier, 260 pp.
- Dingwall, P., Weighell, T., Badman, T. 2005. Geological World Heritage: a Global Framework. A Contribution to the Global Theme Study of World Heritage Sites. IUCN.
- Erikstand, L., Lindblom, I., Jerpåsen, G., Hanssen, M.A., Bekkby, T., Stabretorp, O., Bakkestuen, V., 2008. Environmental value assessment in

- a multidisciplinary EIA setting. *Environmental Impact Assessment Review*, 28: 131-143.
- Gawlikowska, E., 2000. *Ochrona georóżnorodności na Dolnym Śląsku*. Państw. Inst. Geol., Warszawa, 72 pp.
- Gonera, M., 2005. przyrody nieożywionej, czyli dobro nie powszechnego użytku. *Przegląd Geologiczny*, 53 (3): 199-204.
- Gray, M., 2004. *Geodiversity – valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons, England, 434 pp.
- Gray, M., 2008. Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119: 287-298.
- Guthrie, M., 2005. The social and economic value of geodiversity. Earth Heritage: World Heritage ([www.geoconservation.com/EHWH/Conferences/presentations/guthrie.htm](http://www.geoconservation.com/EHWH/Conferences/presentations/guthrie.htm)).
- Hose, T.A., 1995. Selling the story of Britain's stone. *Environmental Interpretation*, 10, 2: 16-17.
- Ibáñez, J.J., De-Alba, S., Bermúdez, F.F., García-Álvarez, A., 1995. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena*, 24: 215-232.
- Ibáñez, J.J., Caniego, J., San José, F., Carrera, C. 2005. Pedodiversity-area relationships for islands. *Ecological Modelling*, 182: 257-269.
- Jačková, K., Romportl, D., 2008. The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava National Park and Křivoklátsko Pla (Czech Republic): a quantitative analysis approach. *Journal of Landscape Ecology*, 1: 23-38.
- Jedicke, E., 2001. Biodiversität, Geodiversität, Ökiodiversität. Kriterien zur Analyse der Landschaftsstruktur – ein konzeptioneller Diskussionsbeitrag. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 3, 2/3: 59-68.
- Kostrzewski, A., 1998. Georóżnorodność rzeźby jako przedmiot badań geomorfologii. W: Pękala K. (ed.), *Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce; stan aktualny i perspektywy*. IV Zjazd Geomorfologów Polskich. UMCS w Lublinie: 260-277.
- Kot, R., 2006. Georóżnorodność – problem jej oceny i zastosowania w ochronie i kształtowaniu środowiska na przykładzie fordońskiego odcinka doliny Wisły i jej otoczenia. Towarzystwo Naukowe w Toruniu, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, 190 pp.
- Kot, R., Leśniak, K., 2006. Ocena georóżnorodności za pomocą miar krajobrazowych – podstawowe trudności metodyczne. *Przegląd Geograficzny*, 78, 1: 25-45.
- Kozłowski, S., 1997. Program ochrony georóżnorodności w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 45, 5: 489-496.
- Kozłowski, S., 2004. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny*, 52, 8/2: 833-837.
- Kozłowski, S., Migaszewski, M., Gałuszka, A., 2004a. Znaczenie georóżnorodności w holistycznej wizji przyrody. *Przegląd Geologiczny*, 52, 4: 291-294.
- Kozłowski, S., Migaszewski, M., Gałuszka, A., 2004b. Geodiversity conservation – conserving our geological heritage. W: Ber A., Alexandrowicz Z. (eds.), *Geological heritage concept, conservation and protection policy in Central Europe*. Pol. Geol. Inst. Special Papers, 13: 13-20.
- Margielewski, W., Alexandrowicz, Z., 2004. Diversity of landslide morphology as a part of geoconservation pattern in the Polish Carpathians. W: A Ber A., Alexandrowicz Z. (eds.), *Geological heritage concept, conservation and protection policy in Central Europe*. Pol. Geol. Inst. Special Papers, 13: 65-72.
- McIntosh, R.P., 1967. An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology*, 48: 392-403.
- Miśkiewicz, K., Stadnik, R., Waškowska-Oliwa, A., 2008. Geodiversity of the Gościbia Stream valley as a geotouristic attraction of the Fylsch Carpathians. W: Słomka, T. (ed), GEOTOUR 2008: "Geotourism and mining heritage", 4th international conference: 26–28 June 2008, Kraków, Poland, AGH University of Science and Technology: 41-42.
- Müller, C., Berger, G., Glemnitz, M., 2004. Quantifying geomorphological heterogeneity to assess species diversity of set-aside arable land. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 104: 587-594.
- Mizgajski, A., 2001. Odniesienie georóżnorodności do wybranych pojęć w naukach o środowisku. W: Karczewski, A., Zwoliński, Z. (eds.), *Funkcjonowanie geoekosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring, ochrona, edukacja*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 369-375.
- Nita, J., Nita, M., 1994. *Waloryzacja form skalnych środkowej części Parku Krajobrazowego „Orle Gniazda”*. Zarząd Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych woj. katowickiego, Dąbrowa Górnicza, 1-103.
- Nichols, W.F., Killingbeck, K.T., August, P.V., 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. A landscape perspective. *Conservation Biology*, 12, 2: 371-379.
- Otęska-Budzyn, J., 1992. Funkcje obszarów i obiektów chronionych w popularyzacji i dydaktyce nauk o Ziemi. *Ochrona Przyrody*, 50, cz. I: 129-169.
- Pereira, P., Pereira, D., Caetano Alves, M.I., 2007. Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica*, 62, 3: 159-168.
- Pullin, A., 2007. *Biologiczne podstawy ochrony przyrody*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 394 pp.
- Radwanek-Bąk, B., 2007. Oddziaływanie wizualne wyrobisk odkrywkowych na przykładzie wybranych obiektów w Małopolsce. *Przegląd Geologiczny*, 55 (12): 1143-1148.
- Reynard, E., Fonatana, G., Kozlik, L., Scapozza, C., 2007. A method for assessing scientific and additional values of geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 63, 3: 148-158.
- Runge, J., 2007. *Metody badań w geografii społeczno-ekonomicznej – elementy metodologii, wybrane narzędzia badawcze*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 700 pp.
- Saldaña, A., Ibáñez, J.J., 2004. Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terraces of the Henares River (central Spain). *Geomorphology*, 62: 123-138.
- Serano, E., Ruiz-Flaño, P., 2007. Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, 62: 140-147.
- Sharples, C., 1993. A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes. *Report to Forestry Commission*, Tasmania, 7 pp.
- Sharples, C., 1995. Geoconservation in forest management - principles and procedures. *Tasforests*, 7: 37-50.
- Słomka, T., Kicińska-Świdorska, A., 2004. Geoturystyka – podstawowe pojęcia. *Geoturystyka*, 1: 5-7.
- Stanley, M., 2004. Geodiversity – linking people, landscapes and their culture. W: Parkes, M.A. (ed.), *Natural and Cultural Landscape – The Geological Foundation*: 47-52. Royal Irish Academy, Dublin.
- Wróblewski, T., 2000. *Ochrona georóżnorodności w regionie świętokrzyskim*. Państw. Inst. Geol., Warszawa, 88 pp.