

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Georóżnorodność z ArcGIS Pro

Model georóżnorodności AR

Tomasz Bartuś

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

<http://home.agh.edu.pl/bartus>
30.09.2025 10:04:00

Wstęp

Koncepcja ochrony przyrody podczas ostatnich stu kilkudziesięciu lat przeszła swoją gruntowną ewolucję (Wilczyński, 2005). Początkowo dominowało podejście zorientowane na zachowanie najbardziej istotnych elementów krajobrazu. Z czasem, idea ta ustąpiła miejsca koncepcji biologicznej ochrony gatunkowej. Obecnie, w ochronie przyrody dominuje podejście holistyczne. Koncepcja ta traktuje środowisko jako zespół powiązanych ze sobą i współoddziałujących na siebie systemów w tym elementów przyrody ożywionej i nieożywionej (Neef, 1967; Leser & Nagel, 2001). Składniki abiotyczne takie jak budowa geologiczna, rzeźba terenu, pokrywa glebowa, hydrosfera czy zmienność topoklimatyczna stanowią pierwotną część przyrody, której zachowanie determinuje *status quo* różnorodności biologicznej (Bartuś, 2020; Bartuś & Mastej, 2023). Dlatego tak ważne są wszelkie działania służące ich poznaniu i ochronie.

Zachowaniem dziedzictwa przyrody nieożywionej zajmuje się geochrona (Sharples, 1993, 1998, 2002; Cleal *i in.*, 1999; Brocx & Semeniuk, 2007; Wimbledon, 2013; Reynard & Brilha, 2018; Gordon, 2019; Crofts *i in.*, 2020; Pescatore *i in.*, 2023). Ma ona na celu zachowanie różnorodności przyrodniczej podłoża geologicznego, form ukształtowanie terenu, gleb, procesów kształtujących powierzchnię Ziemi i procesów glebotwórczych. Jednym z podstawowych narzędzi skutecznej geochrony jest ocena zróżnicowania abiotycznych elementów przyrody nazywana georóżnorodnością (*geodiversity*) (Stanley, 2000, 2003; Gray, 2008, 2013, 2022; Brilha *i in.*, 2018). Szczególnie jest tutaj ważna problematyka ilościowej oceny georóżnorodności (Kot, 2006; Fassoulas *i in.*, 2012; Gray, 2013; Najwer & Zwoliński, 2014; Brilha, 2016; Reynard & Brilha, 2018; Zwoliński *i in.*, 2018; Bartuś, 2020; Crofts *i in.*, 2020; Bartuś & Mastej, 2025).

1. Modele typu AR

Metodami *Aggregating Ratings* (AR) (Mastej & Bartuś, 2024; Bartuś & Mastej, 2025) są *de facto* wszystkie modele, które ostateczną ocenę georóżnorodności uzależniają od arytmetycznej sumy kryteriów cząstkowych (1).

$$GD = \sum_{i=1}^n PC_i \quad (1)$$

Explanations: *GD*—georóżnorodność; *n*—liczba kryteriów cząstkowych; *PC*—kryterium cząstkowe.

W prezentowanej pracy nazwa AR została przypisana modelowi 2. Zdefiniowanemu jako suma różnorodność elementów krajobrazu: budowy geologicznej, rzeźby terenu, hydrografii, gleb oraz topoklimatów (2).

$$GD = R_{geol} + R_{rzezby} + R_{hydro} + R_{gleb} + R_{tklim} \quad (2)$$

gdzie:

GD – georóżnorodność (całkowita),
 R_{geol} – różnorodność geologiczna (2),
 R_{rzezby} – różnorodność rzeźby terenu,
 R_{hydro} – różnorodność hydrograficzna,
 R_{gleb} – różnorodność gleb,
 R_{tklim} – różnorodność topoklimatów.

W nawiązaniu do idei modelu *AR*, różnorodność każdego elementu krajobrazu (budowy geologicznej, rzeźby terenu, hydrosfery, pedosfery i zróżnicowania klimatycznego) opisuje się za pomocą sumy zdefiniowanych kryteriów cząstkowych. Precyzyjnie opisują one **cechy krajobrazu** (np. litologię, stratygrafię, nachylenia, ekspozycję stoków i inne). Poszczególne analizy cząstkowe będziemy wtedy nazywali **kryteriami analizy georóżnorodności**. Przyjmijmy zasadę, że mówiąc „georóżnorodność” będziemy mieli na myśli georóżnorodność całkowitą, a gdy będziemy mówili o różnorodności geologicznej, rzeźby terenu (morfologicznej), hydrograficznej, gleb czy topoklimatycznej – będziemy mieli na myśli kryteria cząstkowe analizy georóżnorodności opisujące poszczególne elementy krajobrazu (2).

Tak więc na wstępie każdej analizy georóżnorodności należy:

- określić zakres analizowanych elementów krajobrazu (budowa geologiczna, rzeźba terenu, hydrosfera, pedosfera, klimat),
- określić jakie cechy krajobrazu (np. litologia, stratygrafia, tektonika i inne) będą opisywały wyżej wymienione elementy krajobrazu,
- dla każdej zdefiniowanej cechy krajobrazu sposoby ilościowego opisu różnorodności cząstkowej nazywane też kryteriami cząstkowymi analizy różnorodności.

2. Różnorodność budowy geologicznej

Różnorodność budowy geologicznej zostanie opisana cechami: zróżnicowaniem litolito-facjalnym, zróżnicowaniem stratygraficznym, zróżnicowaniem tektoniki dysjunktywnej oraz zróżnicowaniem geostanowisk (Tab. 1).

Tab. 1. Elementy, cechy krajobrazu i kryteria oceny różnorodności budowy geologicznej OPN i jego okolic

Cel oceny	Element krajobrazu	Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
różnorodność budowy geologicznej	budowa geologiczna	litologia	liczba jednostek litofacjalnych	$RGLitoLj$
			liczba kategorii litofacjalnych	$RGLitoLt$
			entropia zróżnicowania litofacji	$SHDI_{lito}$
		stratygrafia	liczba jednostek stratygraficznych	$RGStratLj$
			liczba kategorii stratygraficznych	$RGStratLt$
			entropia zróżnicowania stratygrafii	$SHDI_{strat}$
		tektonika dysjunktywna	długość uskoków	$RGTektd$
	geostanowiska		liczba geostanowisk	$RGGeostLj$
			liczba kategorii geostanowisk	$RGGeostLt$

Różnorodność budowy geologicznej zdefiniujemy zgodnie z wzorem 3.

$$R_{geol} = RGLitoLj + RGLitoLt + RGStratLj + RGStratLt + RGTektD + RGGeostLj + RGGeostLt \quad (3)$$

gdzie:

$RGLitoLj$ – różnorodność cząstkowa geologiczna wynikająca z liczby jednostek litofacjalnych ($GLitoLj$),
 $RGLitoLt$ – różnorodność cząstkowa geologiczna wynikająca z liczby kategorii litofacjalnych ($GLitoLt$),
 $RGStratLj$ – różnorodność cząstkowa geologiczna wynikająca z liczby jednostek stratygraficznych ($GStratLj$),
 $RGStratLt$ – różnorodność cząstkowa geologiczna wynikająca z liczby kategorii stratygraficznych ($GStratLt$),
 $RGTektD$ – różnorodność cząstkowa geologiczna wynikająca z długości uskoków ($GTektD$),
 $RGGeostLj$ – różnorodność cząstkowa geologiczna wynikająca z liczby geostanowisk ($GGeostLj$),
 $RGGeostLt$ – różnorodność cząstkowa geologiczna wynikająca z liczby kategorii geostanowisk ($GGeostLt$).

Alternatywnie w oparciu o wskaźnik entropii (Shannon & Weaver, 1949) opracowany zostanie model 4.

$$R_{geol} = SHDI_{lito} + SHDI_{strat} \quad (4)$$

gdzie:

$SHDI_{lito}$ – entropia zmienności litofacjalnej,
 $SHDI_{strat}$ – entropia zmienności stratygraficznej.

3. Różnorodność rzeźby terenu

Różnorodność rzeźby terenu (morforóżnorodność) zostanie opisana cechami: hipsometria, ekspozycją stoków, nachyleniami stoków, krzywiznami planarną i wertykalną oraz lokalną deniwelacją (Tab. 2).

Tab. 2. Elementy, cechy krajobrazu i kryteria oceny morforóżnorodności OPN i jego okolic

Cel oceny	Element krajobrazu	Cecha krajobrazu	Kryterium cząstkowe
morforóżnorodność	rzeźba terenu	hipsometria	<i>Altitude</i>
		ekspozycja stoków	<i>Aspect</i>
		nachylenia stoków	<i>Slope</i>
		krzywizna planarna	<i>Planar curvature</i>
		krzywizna wertykalna	<i>Vertical curvature</i>
		lokalna deniwelacja	<i>TPI</i>

Morforóżnorodność zdefiniujemy zgodnie z wzorem 5.

$$R_{rzeźby} = Altitude + Aspect + Slope + Planar\ curvature + Vertical\ curvature + TPI \quad (5)$$

gdzie:

Altitude – różnorodność cząstkowa rzeźby terenu wynikająca z deniwelacji,

Aspect – różnorodność cząstkowa rzeźby terenu wynikająca ze zróżnicowania ekspozycji stoków (*Aspect*),

Slope – różnorodność cząstkowa rzeźby terenu wynikająca ze zróżnicowania nachyleń stoków (*Slope*),

Planar curvature – różnorodność cząstkowa rzeźby terenu wynikająca ze zróżnicowania krzywizny poziomic (*Planar curvature*),

Vertical curvature – różnorodność cząstkowa rzeźby terenu wynikająca ze zróżnicowania krzywizny profilu (*Vertical curvature*),

TPI – różnorodność cząstkowa rzeźby terenu wynikająca z lokalnej deniwelacji (*TPI*).

Bibliografia

- Bartuś, T. (2020). *Struktura i różnorodność abiotycznych komponentów krajobrazu w ocenie i delimitacji obszarów chronionych na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i jego otoczenia*. Wydawnictwa AGH.
<https://open.icm.edu.pl/bitstreams/0207012c-2c1f-410b-aa9f-b75bde9eaade/download>
- Bartuś, T., & Mastej, W. (2023). Morphodiversity as a Tool in Geoconservation: A Case Study in a Mountain Area (Pieniny Mts, Poland). *Sustainability*, 15(14), 11357.
<https://doi.org/10.3390/SU151411357>
- Bartuś, T., & Mastej, W. (2025). HOW to use continuous variables in geodiversity assessments – RASTER continuous morphodiversity model. *Environmental Modelling & Software*, 193(0), 106597. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106597>
- Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8(2), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D. I., & Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy*, 86, 19–28.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>
- Brocx, M., & Semeniuk, V. (2007). Geoheritage and geoconservation - History, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90(2), 53–87.
[https://rswa.org.au/publications/Journal/90\(2\)/volume90part253-87l.pdf](https://rswa.org.au/publications/Journal/90(2)/volume90part253-87l.pdf)
- Cleal, C. J., Thomas, B. A., Bevins, R. E., & Wimbleton, W. A. P. (1999). GEOSITES - an international geoconservation initiative. *Geology Today*, 15(2), 64–68.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2451.1999.1502006.x>
- Crofts, R., Gordon, J. E., Brilha, J., Gray, M., Gunn, J., Larwood, J., Santucci, V., Tormey, D., & Worboys, G. L. (2020). *Guidelines for geoconservation in protected and conserved areas* (C. Groves, Red.). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.31.en>
- Fassoulas, C., Mouriki, D., Dimitriou-Nikolakis, P., & Iliopoulos, G. (2012). Quantitative Assessment of Geotopes as an Effective Tool for Geoheritage Management. *Geoheritage*, 4(3), 177–193. <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0046-9>

- Gordon, J. E. (2019). Geoconservation principles and protected area management. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 199–210.
<https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.005>
- Gray, M. (2008). Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm. *Geological Society, London, Special Publications*, 300(1), 31–36. <https://doi.org/10.1144/SP300.4>
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature* (2nd Edition). Wiley-Blackwell.
- Gray, M. (2022). Geodiversity and the ecosystem approach. *Parks Stewardship Forum*, 38(1), 39–45. <https://doi.org/10.5070/P538156117>
- Kot, R. (2006). *Georóżnorodność – problem jej oceny i zastosowania w ochronie i kształtowaniu środowiska na przykładzie fordońskiego odcinka doliny dolnej Wisły i jej otoczenia*. Towarzystwo Naukowe w Toruniu, Uniwersytet Mikołaja Kopernika.
- Leser, H., & Nagel, P. (2001). Landscape diversity — a holistic approach. W W. Barthlott, M. Winiger, & N. Biedinger (Red.), *Biodiversity: A Challenge for Development Research and Policy* (s. 129–143). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-06071-1_9
- Mastej, W., & Bartuś, T. (2024). Supervised classification of morphodiversity using artificial neural networks on the example of the Pieniny Mts (Poland). *CATENA*, 242, 108086. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108086>
- Najwer, A., & Zwoliński, Z. (2014). Semantyka i metodyka oceny georóżnorodności – przegląd i propozycja badawcza. *Landform Analysis*, 26, 115–127.
<https://doi.org/10.12657/landfana.026.011>
- Neef, E. (1967). *Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre*. VEB Hermann Haack.
- Pescatore, E., Bentivenga, M., & Giano, S. I. (2023). Geoheritage and Geoconservation: Some Remarks and Considerations. *Sustainability*, 15(7), 5823.
<https://doi.org/10.3390/su15075823>
- Reynard, E., & Brilha, J. (2018). *Geoheritage: assessment, protection, and management*. Elsevier.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press.

- Sharples, C. (1993). *A methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes*.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/102.100.100/23166026.v1>
- Sharples, C. (1998). *Concepts and Principles of Geoconservation*. Park and Wildlife Service, Department of Environment and Land Management.
https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation
- Sharples, C. (2002). *Concepts and principles of geoconservation*. Tasmanian Parks & Wildlife Service.
https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation
- Stanley, M. (2000). Geodiversity. *Earth Heritage*, 14, 15–18.
<http://www.earthheritage.org.uk/wp/wp-content/uploads/2018/03/EH14-2000.pdf>
- Stanley, M. (2003). Geodiversity: Our foundation. *Geology Today*, 19(3), 104–107.
- Wilczyński, W. (2005). Ewolucja poglądów geograficznych na środowisko. W A. Suliborski, K. Rembowska, & W. Maik (Red.), *Podstawowe idee i koncepcje w geografii, t.1. Geografia jako nauka o przestrzeni, środowisku i krajobrazie* (s. 73–102). Łódzkie Tow. Naukowe.
- Wimbledon, W. A. P. (2013). Geoheritage in Europe and its conservation. *Episodes*, 36(1), 68–68. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2013/v36i1/010>
- Zwoliński, Z., Najwer, A., & Giardino, M. (2018). Methods for Assessing Geodiversity. W Reynard Emmanuel & J. Brilha (Red.), *Geoheritage. Assessment, Protection, and Management* (s. 27–52). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00002-2>