

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Georóżnorodność z ArcGIS Pro

# Wybór pola podstawowego oceny

Tomasz Bartuś

---

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

---

<http://home.agh.edu.pl/bartus>  
06.11.2025 13:04:00

## Wstęp<sup>1</sup>

Ćwiczenie wymaga oprogramowania ArcGIS Pro.

Oceny środowiska przyrodniczego wykonywane są w oparciu o przyjętą sieć pól podstawowych. Dzieli ona obszar badań na  $n$  mniejszych podobszarów, dla których obliczane są odpowiednie wskaźniki (indeksy, metryki) krajobrazowe. W literaturze spotyka się cały szereg rozwiązań dotyczących doboru podstawowej jednostki badawczej (Parysek, 1982).

W największej ogólności sieci analityczne można podzielić na **naturalne** i **sztuczne** (Chojnacki, 1970; Bartkowski, 1986). Z podziałem **naturalnym** mamy do czynienia gdy fragmentacji dokonuje się na podstawie nieprzystających do siebie, naturalnych obszarów wykazujących istotne zróżnicowanie struktury pionowej krajobrazu (np. litologii, typów gleb, ekspozycji i nachyleń stoków, klimatu i innych). Sposób wydzielania homogenicznych obszarów zależy od przyjętego modelu pojęciowego (Pietrzak, 2000). Do najczęściej stosowanych systemów należą wywodząca się z geografii fizycznej metoda **geokompleksów** (Bartsch, 1968; Kondracki, 1976; Kondracki & Richling, 1983; Balon, 2007, 2014, 2018) oraz pochodząca z ekologii krajobrazu metoda **płatów-korytarzy-matrycy** (Forman & Godron, 1991).

W metodzie geokompleksów (*geocomplex*) wydzielone jednostki przestrzenno-strukturalne obejmują pewien zamknięty wycinek przyrody, w obrębie którego funkcjonują różnorodne zależności wiążące komponenty naturalne (biotyczne i abiotyczne) oraz antropogeniczne (Bartsch, 1979). Pojęcie geokompleksu obejmuje sfery, komponenty, elementy i cechy krajobrazu. Podział krajobrazu dokonywany jest na podstawie hierarchicznego systemu jednostek o zmiennym poziomie heterogeniczności obejmującego od części świata, poprzez obszary, podobszary, prowincje, podprowincje, makroregiony, mezoregiony, mikroregiony, tereny (ekochory), uroczyska, aż po jednorodne facje (Kondracki, 1976). Jednostki wyższych rzędów składają się z jednostek niższych rzędów, dlatego obiekty wyższego szczebla niż facje są zawsze wewnętrznie niejednorodne. Facje, uroczyska i tereny, które opisują krajobraz w skali lokalnej, są wydzielane metodą kartowania fizycznogeograficznego. Jednostki wyższych rzędów nazywane regionami są wyróżniane w skali regionalnej. Największe z nich opisują krajobraz w skali globalnej (Balon, 2018). Z metodyką wydzielania geokompleksów wyższych rzędów związane są pojęcia **typologii**<sup>2</sup> oraz **regionalizacji**<sup>3</sup>. Wydzielanie homogenicznych jednostek krajobrazo-

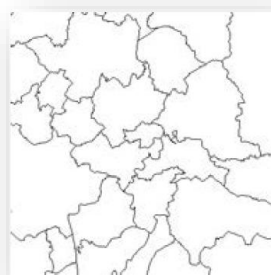
<sup>1</sup> W opracowaniu części teoretycznej wykorzystano rozprawę Bartuś (2020).

<sup>2</sup> Typologia – klasyfikacja geokompleksów na podstawie podobieństw występujących pomiędzy jednostkami (Richling, 1992).

<sup>3</sup> Regionalizacja – klasyfikacja geokompleksów na podstawie różnic występujących pomiędzy jednostkami (Richling, 1992).

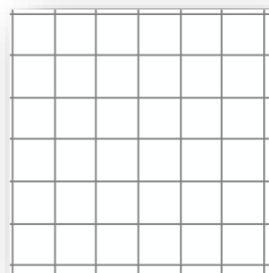
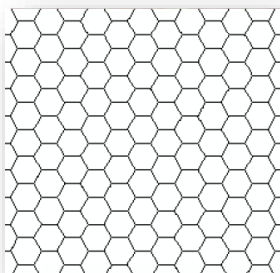
wych ma podstawowe znaczenie w badaniach struktury krajobrazu (Pietrzak, 1998, 2010). Jak zauważa (Balon, 2018), w ostatnim czasie zarysowała się silna tendencja odchodzenia od traktowania geokompleksów jako podstawowego narzędzia badawczego. Jednocześnie obserwowany jest wzrost znaczenia modelu płątów-korytarzy-matrycy jako alternatywnego wobec metody geokompleksów sposobu opisu struktury krajobrazu (Pietrzak, 1998).

Pola siatek analitycznych noszą nazwę **pseudonaturalnych** kiedy ich granice nie mają żadnego odzwierciedlenia wśród naturalnych komponentów środowiska ale pod pewnymi względami odzwierciedlają naturalne podziały. Typowymi przykładami takich siatek są granice podziału administracyjnego lub katastralnego (Ryc. 1). Stanowią one podstawowe narzędzie badawcze w analizach z zakresu geografii ekonomicznej i demografii.



**Ryc. 1. Przykład pseudonaturalnej siatki analitycznej opartej o granice podziału administracyjnego**

Jednostki badawcze noszą nazwę **sztucznych** kiedy charakteryzują się regularnym kształtem, równomiernym rozmieszczeniem w przestrzeni oraz mają taką samą wielkość. Zbiór takich pól podstawowych tworzy sieć przylegających do siebie figur płaskich, która wypełnia cały obszar analizy. W najbardziej typowych sytuacjach oczka sieci analitycznych mają kształt przystających do siebie kwadratów, kwadratów w układzie „cegiełka”, trójkątów równobocznych, sześciokątów, rzadziej innych figur płaskich (Ryc. 2).



**Ryc. 2. Przykłady sztucznych siatek analitycznych**

Właściwości oczek sztucznych sieci analitycznych badał [Parysek \(1982\)](#). Autor wskazał, że najbardziej **korzystne kształty sieci analitycznych** zależą od zwartości przestrzennej jednostek oraz optymalnego położenia pól względem siebie. Wykorzystując jako miarę zwartości – minimalną długość granic jednostek oraz jako miarę korzystnego położenia – minimalną odległość pomiędzy centroidami dwóch sąsiednich obiektów, badacz stwierdził, że najbardziej zwartą siecią analityczną jest struktura złożona z sześciokątów foremnych (najmniej zwartą zaś z trójkątów równobocznych), a najbardziej korzystnym układem przestrzennym jest struktura kwadratów ułożonych w formie „cegiełek” (najmniej korzystnym zaś – sześciokątów foremnych). Wykorzystanie jednostek podstawowych w kształcie kwadratów tworzących układ złożony z kolumn i wierszy, cechuje się względnie pośrednimi wartościami obu analizowanych parametrów. Jak słusznie zauważyli [Kot & Leśniak \(2006\)](#), do największych zalet takich sieci analitycznych należy łatwość ich konstrukcji oraz kształt oczek podobny do piksela w obrazie rastrowym. Największą ich wadą jest natomiast najczęściej losowe rozmieszczenie w przestrzeni oraz przecinanie granic naturalnych.

Oprócz właściwego doboru struktury sztucznych sieci analitycznych problemem jest też określenie optymalnej wielkości jej oczek. Metodologia opisująca to zagadnienie jest bogata. W badaniach przestrzennych materia ta jest znana pod nazwą „*problemu zmiennej jednostki odniesienia*”<sup>4</sup>. Zagadnienie zostało rozpoznane we wczesnych latach 30. ubiegłego wieku przez [Gehlke & Biehl \(1934\)](#). Autorzy, analizując wyniki spisu powszechnego, obserwowali niespójne współczynniki korelacji występujące pomiędzy parami cech w blokach spisowych o różnej wielkości. Problem ten został szczegółowo opisany przez [Openshaw \(1984\)](#).

Jednym z podstawowych narzędzi wykorzystywanych do wyznaczania skal przestrzennych jest metoda semiwariogramów ([Matheron, 1963](#)). Uzależnia ona wielkość siatek analitycznych od zakresów autokorelacji zmiennych zregionalizowanych ciągłych (Rossi i in., 1992; [Meisel & Turner, 1998](#); [Radeloff i in., 2000](#); [Bartuś & Mastej, 2023](#)). [Suchożębski \(2004\)](#) raportuje, że pola podstawowe są homogeniczne gdy ich wielkość jest 3–5 razy mniejsza niż promień autokorelacji zmiennej. Wykorzystywane są także: analiza lakunarności ([Plotnick i in., 1993, 1996](#)), analiza spektralna ([Legendre & Fortin, 1989](#)), sparowana metoda kwadratu wariancji (PQV) ([Qinghua & Maggi, 2004](#)) oraz różne metody fraktalne ([Krummel i in., 1987](#)). Dobór wielkości okna podstawowego może także przebiegać w sposób arbitralny, na podstawie doświadczenia, empirycznych eksperymentów, subiektywnych odczuć badacza lub może być zaczerpnięty z literatury ([Kot, 2006](#)).

<sup>4</sup> Problem zmiennej jednostki odniesienia (*Modifiable Areal Unit Problem*, MAUP) – zjawisko polegające na tworzeniu nienaturalnych struktur przestrzennych, których interpretacja może prowadzić do błędnych wniosków. Ich tworzenie związane jest z nakładaniem na zmienne zregionalizowane sztucznych podziałów, MAUP wiąże się z efektem skali (wynikającym ze zróżnicowania wielkości pól podstawowych) oraz problemem grupowania (związanym z różnorodnością form oczek siatki).

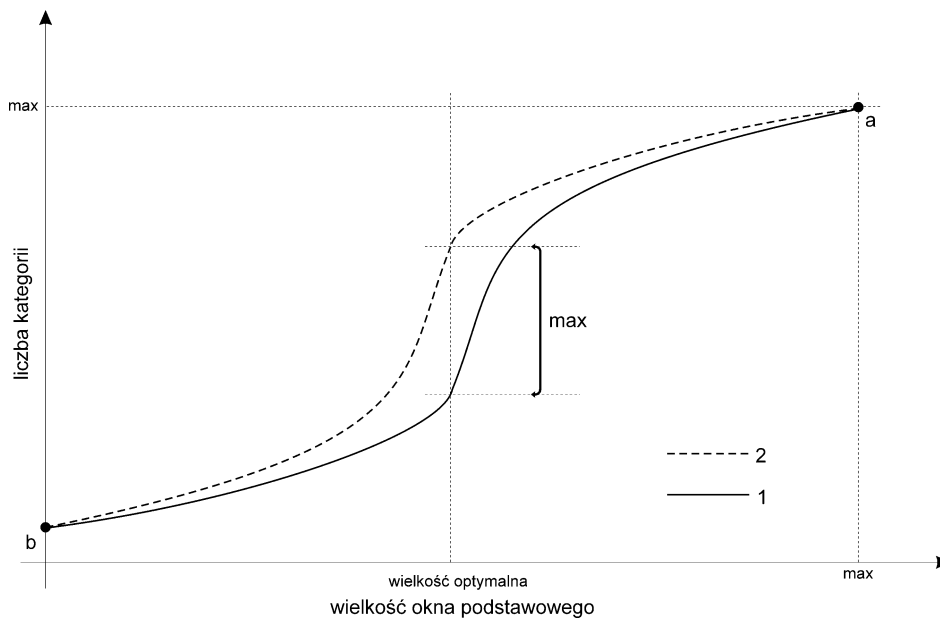
Ciekawe spojrzenie na dobór optymalnej wielkości pola podstawowego w badaniach georóżnorodności zostało zaprezentowane w raporcie Komisji Europejskiej pt. *From land cover to landscape diversity in the European Union* (Eiden i in., 2000). W dokumencie będącym wynikiem współpracy różnych urzędów Komisji Europejskiej (DG AGRI<sup>5</sup>, EUROSTAT<sup>6</sup>, JRC<sup>7</sup> oraz EEA<sup>8</sup>) zaprezentowano zależność wielkości pola podstawowego od liczby kategorii analizowanej cechy. Metoda opiera się na eksperymentach polegających na zastosowaniu różnych siatek podziału oraz obserwacji **liczebności kategorii** występujących wewnątrz pól podstawowych. Idea metody jest bardzo prosta. Jeżeli przy dokonywaniu podziału zmiennej zregionalizowanej na mniejsze jednostki przyjmujemy duży (w odniesieniu do całego obszaru) rozmiar pola podstawowego, to prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na wystąpieniu w każdej jednostce maksymalnej liczby kategorii badanej cechy jest bardzo wysokie (Ryc. 3, punkt a). Kolejne pola podstawowe będą cechowały się maksymalną wewnętrzną różnorodnością. Kartogram wynikowy wygenerowany na podstawie obliczeń niemal w każdym oczku sieci będzie pokazywał tę samą – maksymalną wartość różnorodności i przez to nie będzie miał wartości analitycznej. Odwrotnie, jeśli rozmiar okna podstawowego będzie ograniczony do rozmiaru minimalnej instancji badanej cechy lub będzie od niego mniejszy, każde okno sieci analitycznej będzie się cechowało minimalną wewnętrzną różnorodnością. Stanie się tak, ponieważ niemal w każdym polu podstawowym siatki analitycznej znajdzie się minimalna liczba jej kategorii (Ryc. 3, punkt b). Wygenerowany kartogram, prawie w każdym oczku narzuconej sieci, będzie pokazywał brak różnorodności. Nieco wyższe wartości różnorodności będą wykazywały jedynie pola położone wzdłuż granic zróżnicowania kategorii. W tym przypadku utworzony kartogram również nie będzie wykazywał odpowiedniej różnorodności i w związku z tym nie będzie miał żadnej wartości. Zarówno jeden, jak i drugi przypadek prezentują sytuacje ekstremalne ale dobrze ilustrujące opisywany problem. Optymalna wielkość okna podstawowego musi zatem stanowić kompromis pomiędzy tymi dwiema skrajnościami.

<sup>5</sup> DG AGRI (*Directorate-General for Agriculture and Rural Development*) – Dyrekcja Generalna ds. Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

<sup>6</sup> EUROSTAT (*European Statistical Office*) – Europejski Urząd Statystyczny.

<sup>7</sup> JRC (*Joint Research Centre*) – Wspólnotowe Centrum Badawcze.

<sup>8</sup> EEA (*European Environment Agency*) – Europejska Agencja Środowiska.



**Ryc. 3. Zależność liczby kategorii badanej cechy przypadającej dla kolejnych oczek siatki analitycznej od przyjętej wielkości pola podstawowego, według Eiden i in. (2000); 1 – linia minimalnej liczby kategorii w polach podstawowych, 2 – linia maksymalnej liczby kategorii w polach podstawowych, a – punkt maksymalnej różnorodności, b – punkt minimalnej różnorodności**

Optymalną wielkość okna podstawowego można przybliżyć badaniami empirycznymi. Analiza wymaga szeregu doświadczeń przeprowadzonych z zastosowaniem różnych wielkości pól podstawowych. Dla każdego doświadczenia należy obliczyć minimalną i maksymalną liczbę kategorii badanej cechy, a następnie przedstawić je na jednym wykresie. W wyniku połączenia osobno wartości minimalnych i osobno wartości maksymalnych otrzymuje się dwie krzywe (Ryc. 3). Jak sugerują (Eiden i in., 2000), z optymalną wielkością pola podstawowego mamy do czynienia wtedy, gdy rozstęp pomiędzy minimalną a maksymalną liczbą kategorii badanej cechy jest największy. W opisywanej sytuacji najmniejsza liczba okien sieci analitycznej cechuje się minimalnym i maksymalnym zróżnicowaniem kategorii, a maksymalna liczba okien cechuje się zróżnicowaniem średnim. Przedstawiona metoda rzadko jest stosowana w badaniach różnorodności abiotycznych elementów krajobrazu (Bartuś, 2017, 2020; Eiden i in., 2000).

Jak widać, prawidłowy dobór sieci analitycznej jest zagadnieniem trudnym i zależącym od wielu czynników. Opracowanie jednej uniwersalnej procedury sprawdzającej się w każdej sytuacji prawdopodobnie nie jest w ogóle możliwe. Wśród czynników mających największy wpływ na prawidłowy dobór sieci należy wymienić: skalę materiałów wejściowych (i wynikającą z niej dokładność odwzorowania analizowanych obiektów), rozmiary najmniejszych, średnich i największych obiektów analizowanej cechy krajobrazu, przestrzenną zmienność badanej cechy, cel opracowania oraz wynikającą z niego dokładność i skalę odwzorowania materiałów wynikowych oraz liczbę kategorii (Turner i in., 1989; Kot, 2006).

## Dobór optymalnej siatki analitycznej

Będziemy dokonywali obliczeń liczby kategorii litostratygraficznych przypadających na każde oczko wybranych siatek analitycznych. Przeprowadzenie prostych analiz statystycznych pozwoli nam zorientować się jak wygląda zależność liczby kategorii przypadających na oczka pól podstawowych w zależności od ich wielkości. Do badań wykorzystamy cztery sztuczne siatki pól podstawowych o oczkach w kształcie kwadratów i o bokach 100 m × 100 m, 250 m × 250 m, 500 m × 500 m oraz 1000 m × 1000 m. W badaniach wykorzystamy procedurę obliczeń różnorodności obiektów poligonowych na podstawie liczby kategorii.

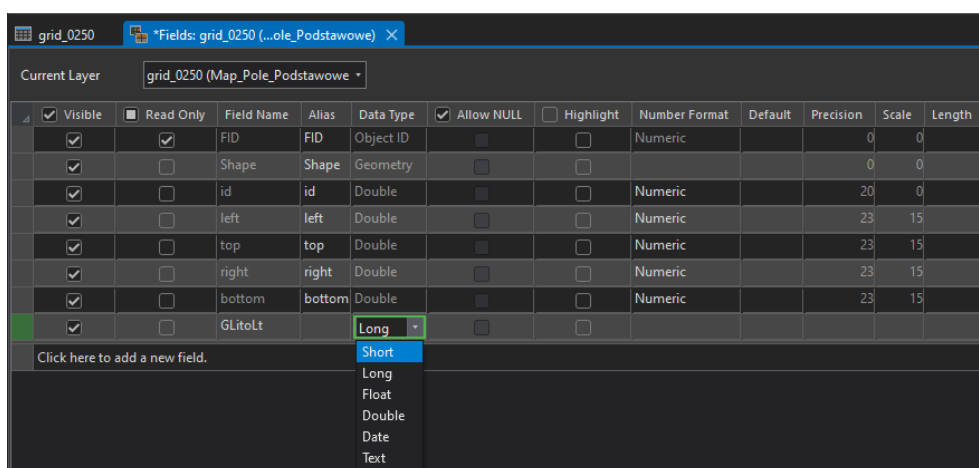
- 1.1. Pobierz zbiór [02\\_grids.zip](#).
- 1.2. W katalogu projektowym, w folderze ...\\SHP\\GRIDS\\ rozpakuj pobrane archiwum.
- 1.3. Utwórz nową mapę i nazwij ją 3.1. Map\_Pole\_Podstawowe.
- 1.4. Usuń domyślne warstwy mapy World Topographic Map i World Hillshade.
- 1.5. Skopiuj warstwę obszar\_badan z mapy 1.3. Map\_Sozo na mapę 3.1. Map\_Pole\_Podstawowe.
- 1.6. Dodaj na scenę mapy wszystkie cztery siatki grid oraz klasę litostratygrafia.
- 1.7. Zmień stylizacje poligonów siatek na przezroczyste z czarnymi cienkimi liniami siatek (style ESRI: Extent Hollow).
- 1.8. Do każdej tabeli atrybutowej każdej siatki analitycznej dodaj atrybut o typie danych – liczba całkowita krótka (*Short Integer*) (**Ryc. 4**):
  - 100 m × 100 m: GLitoLt,
  - 250 m × 250 m: GLitoLt,
  - 500 m × 500 m: GLitoLt,
  - 1000 m × 1000 m: GLitoLt.

Będziemy w nich gromadzić informacje o liczbie kategorii litofacjalnych występujących w kolejnych oczkach wybranej siatki analitycznej.

### UWAGA

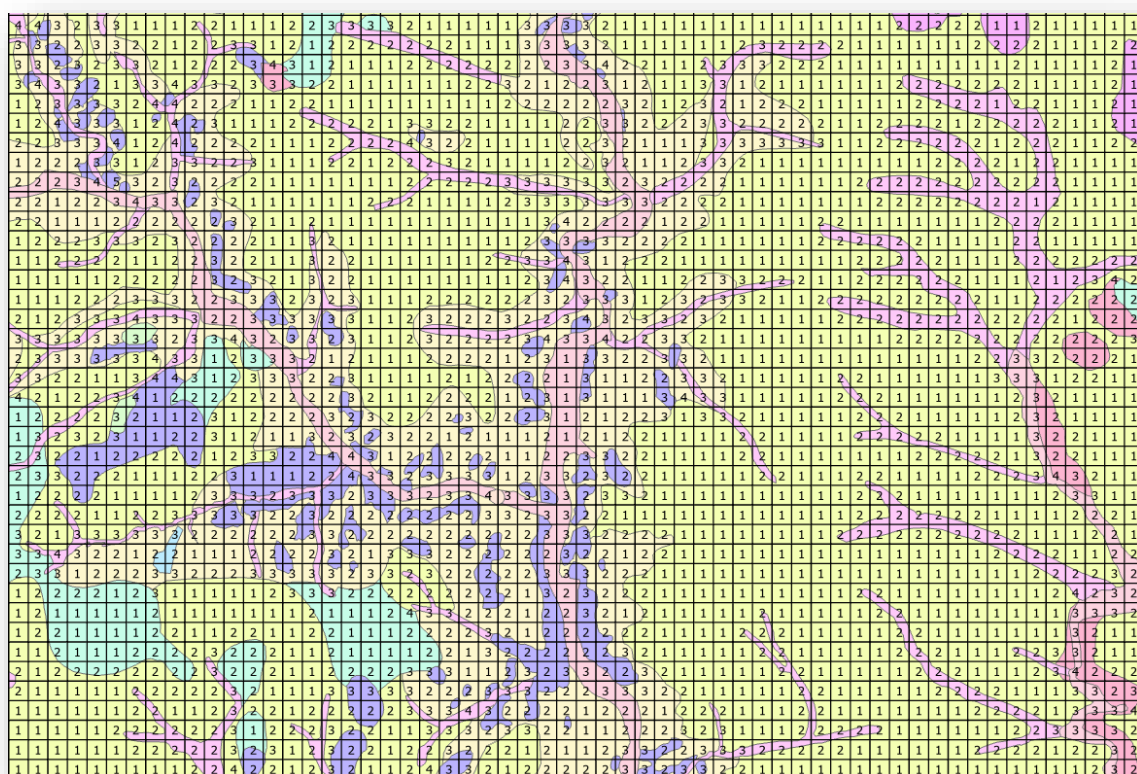
Pliki shapefile mają inne ograniczenia typów danych niż geobazy plikowe ESRI, dlatego pomimo naszych zmian typ danych z *Short Integer* automatycznie zmienia się na *Long Integer*.





Ryc. 4. Dodanie do tabeli atrybutowej klasy grid\_0250 atrybutu GLitoLt (short integer)

- 1.9. Korzystając z procedury obliczeń różnorodności obiektów poligonowych na podstawie liczby kategorii, oblicz liczbę kategorii litostratygraficznych przypadającą na każde pole każdej siatki analitycznej (Ryc. 5).



Ryc. 5. Fragment mapy zmienności litofacjalnej rejonu OPN z obliczonymi dla każdego pola siatki analitycznej grid\_0100 liczbami kategorii litofacjalnych

- 1.10. Oblicz minimalne, maksymalne i średnie liczby kategorii litofacjalnych dla czterech siatek analitycznych. W trakcie tworzenia statystyk z pól GLitoLt tabel atrybutowych tworzone są także histogramy, dzięki którym możemy zapoznać się z rozkładami parametrów i ich asymetrią. Uzupełnij Tab. 1.



**Tab. 1. Statystyki podstawowe liczby kategorii w siatkach analitycznych o różnych wielkościach pól podstawowych**

Siatka analityczna	Liczba kategorii litofacyjnych w polach siatki			Rozkład
	min	max	średnio	
<b>100 m × 100 m</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1,72</b>	prawo asymetryczny duża asymetria
<b>250 m × 250 m</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>2,5</b>	prawo asymetryczny mniejsza asymetria
<b>500 m × 500 m</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>3,5</b>	prawo asymetryczny najmniejsza asymetria
<b>1000 m × 1000 m</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>4,7</b>	symetryczny

1.11. Na podstawie otrzymanych wyników wybierz optymalną wielkość pola podstawowego.

Odpowiednie siatki analityczne powinny cechować się szerokimi rozstępami pomiędzy minimalnymi i maksymalnymi liczbami kategorii w polach podstawowych, możliwe wysokimi wartościami średnimi oraz symetrycznymi rozkładami.

## Bibliografia

- Balon, J. (2007). Unifikacja typów geokompleksów w skali kraju podstawą waloryzacji krajobrazu. W M. Kistowski & B. Korwel-Lejkowska (Red.), *Waloryzacja środowiska przyrodniczego w planowaniu przestrzennym* (s. 25–33). Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego.
- Balon, J. (2014). O dwóch szkołach wyróżniania i klasyfikacji geokompleksów. W W. Ziaja & M. Jodłowski (Red.), *Struktura środowiska przyrodniczego a fizjonomia krajobrazu* (s. 53–61). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński.
- Balon, J. (2018). Organizacja krajobrazu w skali globalnej, regionalnej i lokalnej. W M. Beczkiewicz (Red.), *Akademia talentów przyrodniczych. Podwyższanie jakości kształcenia kompetencji naukowych i przyrodniczych w szkołach ponadgimnazjalnych w ramach przedmiotu Ekologia Krajobrazu* (s. 1–14.). Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego Polskiej Akademii Nauk.
- Bartkowski, T. (1986). *Zastosowania geografii fizycznej*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Bartsch, H. (1968). Arbeitsmethoden in der Landschaftsökologie. W E. Heyer (Red.), *Arbeitsmethoden in der physischen Geographie* (s. 34–46). Volk und Wissen.
- Bartsch, H. (1979). W sprawie pojęć dotyczących powłoki ziemskiej i jej przestrzennego rozczłonkowania w terminologii nauki o krajobrazie. *Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej*, 2, 68–79.
- Bartuś, T. (2017). Basic unit size in the analysis of the distribution of spatial landscape elements on the basis of the lithostratigraphic geodiversity of the Ojców National Park (Poland). *Geology, Geophysics & Environment*, 43(2), 95. <https://doi.org/10.7494/geol.2017.43.2.95>
- 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>

- Chojnacki, Z. (1970). Podstawy teoretyczne zastosowania metod matematycznych w badaniach przestrzennych rolnictwa. *Biuletyn Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju, PAN*, 61.
- Eiden, G., Kayadjanian, M. , & Vidalm Claude. (2000). *From land cover to landscape diversity in the European Union*.
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1991). *Landscape Ecology*. Wiley and Sons.
- Gehlke, C. E., & Biehl, K. (1934). Certain effects of grouping upon the size of the correlation coefficient in census tract material. *Journal of the American Statistical Association*, 29, 169–170.
- Kondracki, J. (1976). *Podstawy regionalizacji fizycznogeograficznej* (Wyd. 2). PWN.
- Kondracki, J., & Richling, A. (1983). Próba uporządkowania terminologii w zakresie kompleksowej geografii fizycznej. *Przegląd Geograficzny*, 55(1), 201–217.
- 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.
- Kot, R., & Leśniak, K. (2006). Ocena georóżnorodności za pomocą miar krajobrazowych – podstawowe trudności metodyczne. *Przegląd Geograficzny*, 78(1), 25–45.
- Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., O'Neill, R. V., & Coleman, P. R. (1987). Landscape Patterns in a Disturbed Environment. *Oikos*, 48(3), 321. <https://doi.org/10.2307/3565520>
- Legendre, P., & Fortin, M. J. (1989). Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80, 107–138.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58, 1246–1266.
- Meisel, J. E., & Turner, M. G. (1998). Scale detection in real and artificial landscapes using semivariance analysis. *Landscape Ecology*, 13(6), 347–362. <https://doi.org/10.1023/A:1008065627847>
- Openshaw, S. (1984). *The modifiable areal unit problem*. CATMOG 38. GeoBooks.
- Parysek, J. J. (1982). *Modele klasyfikacji w geografii* (Seria Geografia, T. 31). Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza.
- Pietrzak, M. (1998). *Syntezy krajobrazowe – założenia, problemy, zastosowania*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe.

- Pietrzak, M. (Red.). (2000). Granice krajobrazowe: podstawy teoretyczne i znaczenie praktyczne. W *Problemy Ekologii Krajobrazu: T. VII*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Pietrzak, M. (2010). *Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu. Teoria i metodologia*. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. J.A. Komeńskiego.
- Plotnick, R. E., Gardner, R. H., Hargrove, W. W., Prestegard, K., & Perlmutter, M. (1996). Lacunarity analysis: a general technique for the analysis of spatial patterns. *Physical Review*, 53, 1–8.
- Plotnick, R. E., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (1993). Lacunarity indices as measures of landscape texture. *Landscape Ecology*, 8(3), 201–211.
- Qinghua, G., & Maggi, K. (2004). Interpretation of scale in paired quadrat variance methods. *Journal of Vegetation Science*, 15, 763–770.
- Radeloff, V. C., Miller, T. F., He, H. S., & Mladenoff, D. J. (2000). Periodicity in Spatial Data and Geostatistical Models: Autocorrelation between Patches. *Ecography*, 23(1), 81–89.
- Richling, A. (1992). *Kompleksowa geografia fizyczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Rossi, R. E., Mulla, D. J., Journel, A. G., & Franz, E. H. (1992). Geostatistical Tools for Modeling and Interpreting Ecological Spatial Dependence. *Ecological Monographs*, 62(2), 277–314. <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Suchożębski, J. (2004). The Size of the Basic Unit in Geographical Analysis. *Miscellanea Geographica*, 11(1), 151–160. <https://doi.org/doi:10.2478/mgrsd-2004-0017>
- Turner, M. G., O'Neill, R. V., Gardner, R. H., & Milne, B. T. (1989). Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3(3/4), 153–162.