

## ANALIZA KRAJOBRAZU PRZY UŻYCIU PODEJŚCIA OBIEKTOWEGO W GEOINFORMACJI

### LANDSCAPE ANALYSIS WITH THE USE OF OBJECT-BASED APPROACH IN GEOINFORMATION

Joanna Adameczyk

Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

**Słowa kluczowe:** analiza obiektowa, ekologia krajobrazu  
Keywords: object-based analysis, landscape ecology

## Wprowadzenie

Ekologia krajobrazu w połączeniu z GIS stały się popularnym narzędziem, wykorzystywanym w badaniach i zastosowaniach związanych z zarządzaniem, planowaniem i ochroną przyrody. Podstawą tego podejścia jest dobra znajomość zasad organizacji i funkcjonowania przestrzeni przyrodniczej, według Chmielewskiego (2001) pozwalająca na:

- stworzenie warunków do optymalnego wykorzystania walorów i potencjału danego obszaru,
- uniknięcie rozwiązań kolidujących z ochroną środowiska,
- łagodzenie istniejących konfliktów i naprawę przynajmniej niektórych błędnych rozwiązań,
- stworzenie warunków do trwałej harmonii przyrody i gospodarki.

Jednak odwzorowanie wielowymiarowej i złożonej struktury danych opisujących całość krajobrazu w jednowymiarowej pamięci komputera jest problemem. Wykonany w technice GIS opis przyrody zawsze jest przybliżeniem, a interpretacja danych zależy od poziomu zaawansowania użytkownika systemu oraz zastosowanych przez niego technik. W tym kontekście szczególnie interesująca staje się perspektywa połączenia metod ekologii krajobrazu i narzędzi GIS z podejściem obiektowym, które może pozwolić między innymi na rozpatrywanie krajobrazu na różnych poziomach hierarchicznych w odniesieniu do konkretnych jego fragmentów oraz podniesienie poziomu adekwatności reprezentacji przestrzennej informacji przyrodniczej w GIS. Wyżej wymienione możliwości skłaniają do przedstawienia szczegółów i specyfiki stosowania narzędzi GIS oraz podejścia obiektowego do analiz ekologii krajobrazu.

## Rola GIS w badaniach krajobrazu

Ujmując rzecz klasycznie (Troll, 1950), możemy powiedzieć, że krajobraz jest pełną, heterogeniczną całością, elementem epigeosfery<sup>1</sup>, funkcjonującą zgodnie z prawami przyrody, obdarzoną zdolnością do samoregulacji i charakteryzującą się indywidualnymi cechami: zajmuje określony wycinek w przestrzeni i można go przedstawić na mapie; charakteryzuje się określoną fizjonomią, która może zostać przedstawiona na rysunku lub fotografii; jest systemem dynamicznym zarówno wewnątrz jak i w relacjach z czynnikami zewnętrznymi; ma swoją historię.

Badania prowadzone przez ekologów krajobrazu ogniskują się na wyjaśnieniu wielostronnych i zmieniających się zależności w krajobrazie (Troll, 1950), szczególnie podkreślany jest przestrzenny charakter prowadzonych badań. Uważa się, że jednym z najważniejszych są następujące charakterystyki krajobrazu (Richling, Solon, 1996):

- **Struktura** – przestrzenne relacje pomiędzy jednostkami krajobrazowymi, wyrażające się w rozmieszczeniu gatunków, dystrybucji materii i energii w odniesieniu do rozmiarów, kształtu, liczby, rodzaju i układu wzajemnego wchodzących w jego skład ekosystemów.
- **Funkcjonowanie** – interakcje pomiędzy przestrzennymi jednostkami krajobrazu, oznaczające przepływ energii i materii oraz migracje żywych organizmów pomiędzy ekosystemami.
- **Zmienność** – przekształcenia struktury i funkcji jednostek ekologicznych w czasie.

Badania krajobrazu z użyciem narzędzi GIS pozwalają na określenie wszystkich wyżej wymienionych jego charakterystyk. Podstawą do percepcji krajobrazu staje się informacja obrazowa, co oznacza, że jest on zbiorem atrybutów przestrzeni stanowiących jego reprezentację (Ostrowski, 2004). W tej koncepcji mieszczą się zarówno fizyczne elementy przestrzeni, jak i relacje pomiędzy nimi, oraz sposób odbioru. Z tym pojęciem łączy się teoria kodowania i przetwarzania informacji obrazowej w mózgu człowieka – specyficzna percepcja krajobrazu, która powoduje tworzenie odrębnych jednostek strukturalnych, na podstawie odniesionych wrażeń.

Pomimo odmienności sposobu działania, narzędzia GIS pozwalają na naśladowanie właściwości systemu krajobrazowego (Troll, 1950). W analizach GIS właściwości te jednak traktowane są w nieco odmienny sposób:

- **Złożoność** – którą można określić jako różnorodność i układ wchodzących w jego skład elementów – narzędzia GIS pozwalają na tworzenie systematyki obiektów: klasyfikację i taksonomię<sup>2</sup>.
- Traktowanie krajobrazu jako **systemu otwartego**, dającego możliwość dołączania kolejnych zależności z otaczającymi go jednostkami. Tutaj jednak istnieją ograniczenia związane z poziomem złożoności użytego modelu. Tradycyjne narzędzia GIS rozpastrują tę właściwość krajobrazu przede wszystkim w aspekcie przestrzennym.

<sup>1</sup> Przez pojęcie epigeosfera rozumie się zewnętrzną sferę Ziemi.

<sup>2</sup> Wyjaśnienie pojęć według Armanda (1980): Systematyka – ustalenie porządku pomiędzy częściami całości na podstawie pewnych prawidłowości, zasad i reguł. Klasyfikacja – „poziomy” podział na grupy przedmiotów jednorodnych pod jakimś względem. Taksonomia – „pionowy” podział obiektów, ich podporządkowanie, czyli hierarchia.

- **Całościowość** – czyli stopień zintegrowania składników systemu, przy użyciu modeli GIS istnieje możliwość określenia zależności pomiędzy poszczególnymi elementami krajobrazu i monitorowania reakcji na zmiany. Jedną z najważniejszych korzyści z przeprowadzenia takich ocen jest otrzymanie informacji o organizacji systemu krajobrazowego: uporządkowaniu jego elementów, jego charakterystyki funkcjonalnej.
- **Probabilistyczny charakter** – możliwość zaangażowania logiki rozmytej do wnioskowania pozwala na uwzględnienie niepewności danych przyrodniczych.
- **Brak głównego podsystemu sterującego** – sposób przypisywania atrybutów do obiektów znajdujących się w warstwach GIS wymusza odnoszenie cech do poszczególnych obiektów, co jest możliwe również w odniesieniu do funkcji pełnionych w krajobrazie. Opisanie zależności między tymi elementami następuje za pomocą modelowania.
- **Wysoka hierarchiczność krajobrazu** – jest to jedna z właściwości najbardziej podobnych do specyfiki GIS, szczególnie jeżeli rozpatrujemy zależności zachodzące pomiędzy obiektami, które znajdują się na różnych poziomach organizacji przyrody.

Korelacja pewnych ogólnych własności systemu krajobrazowego ze zdolnościami systemu GIS stanowi jego zaletę jako narzędzia w badaniach przyrodniczych. W ostatnich latach rozwija się jeszcze jedna, szczególna właściwość GIS, która może pozwolić na zwiększenie adekwatności opisu przyrody w systemach – jest to podejście obiektowe.

## Analizy krajobrazu w podejściu obiektowym

Obiektowe podejście w analizach krajobrazu za pomocą technik GIS może być wielorako rozumiane. Pojęcie obiekt w teorii projektowania systemów informacyjnych jest odpowiednikiem angielskiego *feature* lub encji, które może mieć wiele znaczeń – zazwyczaj jednak jest rozumiane jako każdy konkretny lub abstrakcyjny element systemu rozpatrywany jako całość w przestrzeni rozważań na konkretnym poziomie hierarchii obiektów. Definicja ta jest na tyle uniwersalna, że możemy nią określić również obiekty w badaniach krajobrazu, co może pozwolić na jego aproksymację. Przy tym należy jednak pamiętać o różnicy w sposobie funkcjonowania przyrody (o dużym udziale niepewności) i systemów komputerowych (charakteryzujących się m.in. precyzją).

W ekologii krajobrazu, teoria obiektów odzwierciedla się w podstawowym dla tej nauki rozpatrywaniu i podziale krajobrazu na:

- **Komponenty krajobrazu** – jako obiekty w kontekście wydzielenia ich jako samodzielnych składowych środowiska przyrodniczego, tworzących w interakcji całość krajobrazową, jednocześnie determinujących charakter przestrzennych jednostek przyrodniczych, np. litologia, gleba, roślinność.
- **Przestrzenne jednostki przyrodnicze** (np. geokompleksy) – będące obiektami w relacjach przestrzennych „poziomych”. W niniejszym artykule zastosowano klasyczne rozumienie tego pojęcia, jako relatywnie zamknięty wycinek przyrody, stanowiący całość dzięki zachodzącym w nim procesom i współzależności budujących go komponentów. Podstawą ich układu hierarchicznego jest delimitacja jednostek podstawowych, które charakteryzują się określonym (zależnym od przyjętych kryteriów) poziomem jednolitości tworzących je komponentów, np. jeden typ gleby.

Można powiedzieć, że analizy krajobrazu w omawianym kontekście następują w procesie dwuetapowym:

1. Delimitacja podstawowych jednostek przestrzennych w krajobrazie – etap ten może być zrealizowany na przykład przy pomocy klasyfikacji obiektowej obrazów teledetekcyjnych.
2. Analiza zależności „poziomych” zachodzących pomiędzy geokompleksami oraz „pionowych” pomiędzy geokomponentami – zastosowanie technik analiz przestrzennych wykorzystujących istniejącą hierarchię obiektów w krajobrazie.

### **Delimitacja przestrzennych jednostek przyrodniczych**

Metoda wyznaczania i klasyfikacji obiektów (w rozumieniu klas pokrycia terenu) na podstawie danych obrazowych jest zbliżona do delimitacji przestrzennych jednostek przyrodniczych w podejściu ekosystemowym<sup>3</sup>.

Technika obiektowa stanowi istotną innowację w metodyce klasyfikacji krajobrazu na podstawie obrazów teledetekcyjnych. Do tej pory metody opierały się na próbie przypisania do określonych klas informacji zapisanej w pikselach obrazu – czyli tylko na wybranych fizjonomicznych cechach obiektów (wyrażanych poprzez ich odpowiedź spektralną). Omawiana metoda jest bardziej rozbudowana i opiera rozpoznanie obiektów na analizie natężenia jasności, kształtu, tekstury, powierzchni, tła tematycznego oraz innych informacji zapisanych w treści obrazów cyfrowych. Postępowanie w tej procedurze podąża za określonym układem struktur przestrzennych, w celu stworzenia hierarchii obiektów rozumianych jako płyty pokrycia terenu. Z punktu widzenia analizy krajobrazu szczególnie cenne i kształcące są następujące cechy i możliwości metody obiektowej<sup>4</sup>:

- **Szeroki zakres danych**, zarówno obrazowych, jak i tematycznych, poddawany analizie – pozwalający na wprowadzenie do systemu dodatkowych informacji o geokomponentach.
- **Zdolność do segmentacji krajobrazu**, stanowiącej wstępną klasyfikację – obiekty (a właściwie ich granice) generowane są na podstawie różnic w odpowiedzi spektralnej oraz ich kształtu. Szczególnie cenną cechą procesu segmentacji jest możliwość uwzględnienia dodatkowych czynników charakteryzujących obiekty zgodnie z zasadami ekologii krajobrazu poprzez ustawienia pozwalające na określenie przewidywanego poziomu homogeniczności obiektów, istotności kształtu ich granic oraz barwy. Aby utworzone obiekty mogły być uznane za geokompleksy wydzielone na podstawie pokrycia terenu, muszą być homogeniczne. Istnieje też możliwość wprowadzenia danych tematycznych które mogą służyć porównaniom z zawartością obrazu teledetekcyjnego.
- **Tworzenie hierarchii klas**, pozwalającej na sprostanie wymogom najbardziej zaawansowanych zależności pomiędzy geokompleksami na różnych poziomach organizacji przyrody. Pewnym ograniczeniem jest trudność w tworzeniu klas o charakterze, który można określić jako interpretacyjny. Ich specyfika jest związana z przypisywa-

<sup>3</sup> Pojęcie ekosystem zostało użyte w znaczeniu systemu obejmującego organizmy żywe i czynniki abiotyczne tworzące siedlisko żywej przyrody. Podejście ekosystemowe do delimitacji jednostek krajobrazowych opiera się na uwzględnieniu przede wszystkim komponentów biotycznych (Richling, Solon, 1996).

<sup>4</sup> Określono na podstawie analizy obrazów teledetekcyjnych w oprogramowaniu eCognition w wersji 4 Professional, produktu firmy Definiens Imaging.

nym użytkowaniem terenu, niemożliwym do wykrycia na podstawie samej analizy obrazu teledetekcyjnego<sup>5</sup>,

- **Klasyfikacja na podstawie wybranych obiektów wzorcowych**, które są reprezentatywne dla poszczególnych typów pokrycia terenu. Jest to bardzo istotna zaleta pozwalająca na automatyzację procesu delimitacji jednostek krajobrazowych, posiadająca jednak również ograniczenia związane ze specyficznym błędem towarzyszącym wszystkim automatycznym metodom rozpoznawania obiektów.
- **Możliwość określenia cech obiektów**, na których podstawie przeprowadzona zostanie klasyfikacja. Jest to kluczowy etap całego procesu klasyfikacji, pozwalający na możliwie najbardziej precyzyjne rozróżnienie cech, na podstawie których jest prowadzona delimitacja jednostek. Służą temu klasyfikatory, algorytmy pozwalające na zdefiniowanie matematycznych charakterystyk cech obiektów – w celu analizowania informacji obrazowej i reguł logicznych – służących np. porównaniom z warstwami tematycznymi.

Sam proces klasyfikacji przebiega iteracyjnie, co pozwala na udoskonalanie wyników, poprzez zmiany w: strukturze klas, wyborze obiektów wzorcowych, przestrzeni klasyfikatorów rozróżniających klasy. Można wyróżnić trzy podstawowe metody klasyfikacji, z których każda posiada swoją specyfikę z punktu widzenia potrzeb ekologii krajobrazu:

1. Na podstawie klasyfikatorów bez udziału obiektów wzorcowych – rodzaj ten pozwala na określenie jednoznacznych kryteriów przyporządkowania obiektu do określonej klasy geokompleksów. Można przy tym do procesu klasyfikacji włączyć również reguły określające cechy obiektu wynikające z innych komponentów krajobrazu, niż pokrycie terenu.
2. Z udziałem obiektów wzorcowych na podstawie jednolitego zestawu klasyfikatorów dla wszystkich klas – tworzony jest niejako katalog obiektów przynależnych do każdej klasy, zestaw standardowych klasyfikatorów jest pomocny w wykonaniu delimitacji jednostek, lecz nie umożliwia stosowania dodatkowych kryteriów (jak wyżej).
3. W zoptymalizowanej przestrzeni klasyfikatorów, indywidualnej dla każdej z klas – w przypadkach wydzielenia obiektów metoda ta traktowana jest jako poprawa wyników metody 2, w podejściu ekologii krajobrazu nabiera ona jednak nowego znaczenia, gdyż pozwala na połączenie wykorzystania cech obiektów wynikających z innych komponentów krajobrazu niż pokrycie terenu (metoda 1) z katalogiem obiektów przykładowych tworzonym na podstawie obiektów wzorcowych, co znacznie poprawia skuteczność tej metody.

Ocena dokładności klasyfikacji polega na sprawdzeniu prawidłowości przeprowadzonej procedury i przyjętych założeń. Z punktu widzenia analizy krajobrazu szczególnie cenna jest możliwość zastosowania oceny klasyfikacji przy pomocy logiki rozmytej – ocena stopnia prawdopodobieństwa przynależności obiektu do właściwej klasy (*Classification Stability*).

### Możliwości dalszych analiz przy wykorzystaniu obiektów

Obiekty, rozumiane jako geokompleksy dowolnego poziomu hierarchicznego wraz z przypisaną do nich bazą atrybutów określających ich cechy i własności, mogą być wykorzystane do analiz struktury przestrzennej krajobrazu. Poniżej omówiono przykładowe modele, w których krajobraz jest rozpatrywany jako mozaika obiektów:

<sup>5</sup> Przykładem może być klasa „tereny sportowe i rekreacyjne”, które mogą być interpretowane przez system jako przynależne do następujących klas: „łąki”, „grunty orne”, „zabudowa luźna”, „lasy”.

- Wyznaczanie **miar i wskaźników różnorodności biologicznej** krajobrazu opiera się na opisie zależności zachodzących pomiędzy płatami w krajobrazie, które mogą być zidentyfikowane jako obiekty. Oceniane są między innymi następujące cechy krajobrazu: rozczłonkowanie – na podstawie liczby granic na jednostkę powierzchni, kształtu płatów, wymiaru fraktalnego różnego typu ekosystemów; różnorodność typologiczna (bioróżnorodność) – miary oparte na wskaźniku Shannona<sup>6</sup>, jednakowo traktujące wszystkie obiekty (płat o określonym gatunku); rzadkość gatunków – między innymi oceniana jest pospolitość składu płatu, udział gatunków chronionych.
- **Ocena charakteru granic w krajobrazie** odbywa się na podstawie wyodrębnienia geokompleksów (w podejściu ekosystemowym). Oceniane mogą być następujące aspekty granic w krajobrazie: kontrastowość – głównie fizjonomiczna i siedliskowa; występowanie i charakter ekotonów – układ gradientów na obszarze bez ostrych granic, występowanie ostrych granic. Przy ocenach ekotonów strefy graniczne powinny być rozpatrywane jako wydzielone obiekty. Wyznaczenie ich może być trudne, w zależności od dokładności i skali danych wejściowych. W tym przypadku szczególnie istotne jest możliwie dokładne i adekwatne odwzorowanie krajobrazu w systemie.
- Obiekty są również podstawą do budowy **modelu strefowo-pasmowo-węzłowego**, który opiera się na całościowym podejściu do krajobrazu i wyraża się w ocenie funkcji spełnianej przez układy płatów w krajobrazie. Niektóre z obiektów posiadają warunki do życia gatunków – stanowią one izolowane wyspy, wchodzą w skład większych struktur przestrzennych stanowiąc element korytarza, bądź strefy węzłowej. Inne, o warunkach niedogodnych dla życia – stanowią wyspy w obszarach zamieszkałych lub w większych rozmiarach stanowią tło otaczające wyspy i korytarze ekologiczne.
- Krajobraz, rozumiany jako system przyrodniczy może być również rozpatrywany w **modelu hierarchicznym** pod kątem oceny jego struktury funkcjonalno-przestrzennej. Składa się on z mozaiki geokompleksów homogenicznych, wyznaczanych na poziomie podstawowym, a ich agregacja doprowadza do utworzenia heterogenicznych jednostek coraz wyższego rzędu. Analiza krajobrazu odbywa się w układzie pionowym na kolejnych poziomach przestrzeni przyrodniczej.

## Dyskusja i wnioski

Jak wykazano powyżej podejście obiektowe posiada znaczne zalety w zastosowaniach związanych z analizami przestrzennymi wykonywanymi za pomocą metod ekologii krajobrazu. Traktowanie krajobrazu jako zestawu obiektów posiadających swoje położenie w przestrzeni, miejsce w hierarchii oraz przypisane atrybuty jest bardzo uniwersalne, dzięki niemu otrzymujemy możliwość rozpatrywania przestrzeni przyrodniczej w wielu wymiarach.

---

<sup>6</sup> Wskaźnik Shannona (również znany jako indeks Shannona-Weavera) – jeden z wskaźników różnorodności najczęściej stosowanych do oceny bioróżnorodności. Jego zaletą jest uwzględnianie jednocześnie liczby oraz równomierności występowania gatunków.

Metoda ta posiada jednak pewne ograniczenia związane z naturą systemów komputerowych, w których: liczba możliwych do bezpośredniego zapisania wymiarów jest ograniczona do jednego, a dane muszą być wprowadzone precyzyjnie. Istnieje również kilka trudności związanych z problemem takiego opracowania metody analizy przestrzennej w GIS, żeby była ona zgodna ze sposobem myślenia człowieka (np. wspomniana powyżej klasyfikacja interpretacyjna).

Wydaje się jednak, że przy użyciu metody obiektowej standardowy problem związany z adekwatnością reprezentacji danych przyrodniczych w systemach GIS (Adamczyk, 2005) może zostać w wielu aspektach rozwiązany. Temat ten wymaga rozwinięcia.

### Literatura

- Adamczyk J., 2005: System Informacji Przestrzennej o Rezerwach Biosfery, niepublikowane, KULGiEL Wydział Leśny SGGW, Warszawa.
- Armand D. L., 1980: Nauka o krajobrazie, PWN Warszawa.
- Chmielewski T. J., 2001: System planowania przestrzennego harmonizującego przyrodę i gospodarkę, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin.
- Ostrowski M., 2004: Krajobraz w ujęciu informacji obrazowej, [W:] Cieszewska A., (red.) Płaty i korytarze jako elementy struktury krajobrazu – możliwości i ograniczenia koncepcji, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Richling A., Solon A., 1996: Ekologia krajobrazu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Troll C., 1950, [Za:] Richling A., Solon A., 1996: Ekologia krajobrazu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

### Summary

*In last years a new technique of image classification appeared, consisting in application of object-based approach. This methodology is relevant in comparison with traditional pixel-based classification methods. It gives also new possibilities related to functioning of the object-based approach as a new paradigm in geoinformation. The new approach to image analysis allows to join GIS and landscape ecology methods for performing advanced spatial analyses. The paper presents theoretical basis and advantages of the object-based approach in landscape analysis. Also, possibilities of further analyses with the use of objects and some limitations of the method are discussed.*

dr Joanna Adamczyk  
Joanna.Adamczyk@wl.sggw.pl