

Gradientowy model oceny powiązalności krajobrazu

ELŻBIETA ZIÓŁKOWSKA¹, KATARZYNA OSTAPOWICZ¹, VOLKER C. RADELOFF², NURIA F. SELVA³

¹ Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, eziolkowska@gis.geo.uj.edu.pl, kostapowicz@gis.geo.uj.edu.pl

² Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin-Madison, 1630 Linden Drive, Madison WI 53706, USA, radeloff@wisc.edu

³ Instytut ochrony Przyrody, Polska Akademia Nauk, al. A. Mickiewicza 33, 31-120 Kraków, nuria@iop.krakow.pl

Słowa kluczowe: łączność siedlisk, korytarze migracyjne, telemetria GPS

W niniejszym opracowaniu przedstawiono procedurę pozwalającą na kompleksową ocenę powiązalności krajobrazu (ang. *'landscape connectivity'*) z zastosowaniem gradientowych modeli krajobrazu. Dzięki wykorzystaniu nowych, a jednocześnie coraz bardziej powszechnych technologii pozyskiwania informacji o aktywności i przemieszczaniu się zwierząt (systemy telemetryczne GPS-GSM), przedstawiony gradientowy model powiązalności pozwala na ocenę zmienności powiązalności w czasie i przestrzeni, oraz w odniesieniu do różnych typów aktywności zwierząt.

W krajobrazie przekształconym przez człowieka, o wysokim stopniu fragmentacji i dużej liczbie antropogenicznych barier, zdolność gatunków do przemieszczania się pomiędzy obszarami siedliskowymi jest kluczowa dla ich długoterminowego przetrwania. Efektywna ochrona bioróżnorodności wymaga więc poznania i zrozumienia funkcjonalnych związków zachodzących pomiędzy płatami siedliskowymi wynikających z ich przestrzennego rozmieszczenia oraz przemieszczania się organizmów w odpowiedzi na przestrzenną strukturę krajobrazu. Jest to szczególnie ważne w przypadku dużych ssaków o znacznych wymaganiach siedliskowych. Do tej pory ocena powiązalności krajobrazu opierała się często na danych skategoryzowanych (np. pokrycie terenu; Zeller i in. 2012), lub też prowadziła do dyskretyzacji informacji ciągłej, np. poprzez wyznaczanie potencjalnych korytarzy migracyjnych w postaci ścieżek najmniejszego kosztu (ang. *'least-cost paths'*) w oparciu o ciągłą powierzchnię kosztową (np. Adriaensen i in. 2003). Tymczasem model dyskretny, choć powszechnie stosowany w badaniach krajobrazowych, prowadzi często do uproszczenia i nie pozwala na przedstawienie wewnętrznej złożoności wyróżnionych w krajobrazie elementów. Model ten wymaga również zdefiniowania ostrych granic pomiędzy wyróżnionymi elementami, podczas gdy w rzeczywistości w krajobrazie więcej jest przejść stopniowych niż gwałtownych (Stoddard 2010). Celem niniejszego opracowania jest więc wypracowanie nowej ścieżki postępowania pozwalającej na ocenę powiązalności z zastosowaniem modelu gradientowego na różnych jej etapach, począwszy od danych wejściowych, a skończywszy na wyznaczeniu potencjalnych korytarzy

migracyjnych jako heterogenicznych stref oraz obszarów w różnym stopniu istotnych dla zachowania powiązalności. Dodatkowo w wypracowanej procedurze uwzględniono wykorzystanie danych pochodzących z odbiorników GPS-GSM oraz czujników aktywności (dwu- lub trzy-osioowych akcelerometrów ruchu) montowanych w obrożach, pozwalających na określenie trajektorii przemieszczania się zwierząt (z określonym interwałem czasowym) oraz typu aktywności (odpoczynek, żerowanie, przemieszczanie się).

W opracowanej procedurze analiza powiązalności opiera się o powierzchnie kosztowe będące powierzchniami prawdopodobieństwa dla różnych typów aktywności zwierząt (np. przemieszczania się) wyznaczonych w oparciu o dane telemetryczne. Do konstrukcji powierzchni kosztowych zastosowano modele regresji logistycznej oraz tzw. *'step selection functions'* (Fortin i in. 2005) wykorzystując jako zmienne objaśniające, zmienne krajobrazowe w postaci powierzchni gradientowych skonstruowanych z zastosowaniem funkcji odległości i gęstości. Nawiązano tutaj do modelu *'continuum'* opracowanego przez Fischera i Lindenmayera (2006). W modelu tym dostępność jedzenia, schronienia, siedliska i warunki klimatyczne są uważane za cztery zmieniające się gradientowo zmienne kształtujące przestrzenną strukturę występowania i liczebność gatunków. Analizę powiązalności i wyznaczenie potencjalnych korytarzy migracyjnych przeprowadzono łącząc tradycyjną metodę ścieżek najmniejszego kosztu z metodą *'conditional minimum transit cost'* (Pinto i Keitt 2009) oraz metodą bazującą na teorii obwodów elektrycznych i oporze elektrycznym (ang. *'circuit theory'*, *'electrical resistance'*; McRae i in. 2008). Pozwoliło to na opisanie korytarzy jako heterogenicznych stref o zmieniających się warunkach, a także wyznaczenie obszarów szczególnie ważnych z punktu widzenia zachowania powiązalności siedlisk.

Zaproponowana procedura, w odróżnieniu do powszechnie stosowanych, w których powierzchnia kosztowa definiowana jest jako (najczęściej liniowe) przekształcenie powierzchni przydatności siedliskowej (ang. *'habitat suitability'*; Trainor i in. 2013), zakłada, że potencjalnie różne czynniki mogą warunkować różne typy aktywności zwierząt, np. inne zasoby mogą sprzyjać bytowaniu a inne przemieszczaniu się osobników danego gatunku. Dodatkowo konstrukcja powierzchni kosztowych opiera się na zmiennych krajobrazowych o charakterze powierzchni gradientowych konstruowanych z zastosowaniem metody ruchomego okna analizy (ang. *'moving window'*) o różnej wielkości, pozwalając na identyfikację skali analizy istotnej z punktu widzenia danego gatunku oraz typu aktywności. W wyznaczaniu potencjalnych korytarzy migracyjnych zastosowano natomiast istniejące metody, dokonując jednak ich integracji oraz rozwinięcia.

Coraz większa dostępność teledetekcyjnych danych obrazowych o dużych rozdzielczościach przestrzennych oraz danych o przemieszczaniu się zwierząt

o dużej rozdzielczości czasowej, otwierają nowe możliwości w monitoringu zwierząt oraz ocenie fragmentacji i powiązalności siedlisk w krajobrazach przekształconych przez człowieka. Pomimo mnogości istniejących metod i narzędzi, brak jest wypracowanych procedur pozwalających na analizę powiązalności w przestrzeni i czasie, od etapu pozyskania danych po wyznaczenie potencjalnych korytarzy migracyjnych. Zaproponowane podejście ma wypełnić tę lukę, odnosząc się jednocześnie do metod już sprawdzonych. Przy wstępnych analizach wykorzystano dane telemetryczne dla niedźwiedzia brunatnego (*Ursus arctos*) na obszarze Bieszczadów i Beskidu Niskiego. Planowane jest jednak rozszerzenie analiz na obszar całych Karpat oraz z uwzględnieniem większej liczby gatunków, co pozwoliłoby na ustalenie kierunków ochrony gatunków chronionych w tym niezwykle cennym z punktu widzenia bioróżnorodności obszarze Europy.

Badania finansowane są ze środków Narodowego Centrum Nauki, programu SONATA, projektu: „Połączenie podejść dyskretnego i ciągłego w modelowaniu fragmentacji i powiązalności krajobrazu z wykorzystaniem teorii i technologii informacji geograficznej” (numer projektu: 2011/03/D/ST10/05568) oraz z Małopolskiego funduszu stypendialnego dla doktorantów „Doctus”.

Literatura:

- Adriaensen F, Chardon JP, Blust G De, Swinnen E, Villalba S, Gulinck H, Matthysen E, 2003. The application of “ least-cost ” modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* 64, 233–247.
- Fischer J, Lindenmayer DB, 2006. Beyond fragmentation: the continuum model for fauna research and conservation in human-modified landscapes. *Oikos* 112, 473–480.
- Fortin D, Hawthorne BL, Boyce MS, Smith DW, Duchesne T, Mao JS, 2005. Wolves influence elk movements : behavior shapes a trophic cascade in Yellowstone National Park. *Ecology* 86, 1320–1330.
- McRae BH, Dickson BG, Keitt TH, Shah VB, 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology and conservation. *Ecology* 10, 2712–2724.
- Pinto N, Keitt TH., 2009. Beyond the least-cost path: evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach. *Landscape Ecology* 24, 253–266.
- Stoddard S, 2010. Continuous versus binary representations of landscape heterogeneity in spatially-explicit models of mobile populations. *Ecological Modelling* 19, 2409–2414.
- Trainor AM, Walters JR, Morris WF, Sexton J, Moody A, 2013. Empirical estimation of dispersal resistance surfaces: a case study with red-cockaded woodpeckers. *Landscape Ecology* 28, 755–767.

Zeller KA, McGarigal K, Whiteley AR, 2012. Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology* 27, 777–797.