



JAGIELLONIAN UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Institute of Geography and Spatial Management

**Dependence of habitat connectivity modeling on continuous
and discrete representations of landscape structure**

Elżbieta Ziółkowska

PhD thesis written under the supervision

of prof. dr hab. Jacek Kozak

and dr Katarzyna Ostapowicz

Kraków 2016

Streszczenie

Łączność siedliskowa (powiązalność siedliskowa; ang. *habitat connectivity*) stanowi ważne zagadnienie zarówno w ekologii krajobrazu jak i ochronie bioróżnorodności. Zapewnienie łączności siedliskowej, a więc umożliwienie przemieszczania się organizmów i wymiany genów pomiędzy płatami siedliskowymi, jest kluczowe dla funkcjonowania populacji, zwłaszcza na obszarach podlegających silnej antropopresji oraz fragmentacji siedlisk. Aby zwiększyć skuteczność działań podejmowanych w celu ochrony łączności siedliskowej, istotne jest lepsze zrozumienie narzędzi i wskaźników służących do jej oceny, a także niepewności, które mogą pojawiać się na różnych etapach procesu modelowania łączności siedliskowej. Niepewności te mogą być związane, między innymi, z zastosowaną w modelowaniu reprezentacją struktury przestrzennej krajobrazu. Problem ten nie został do tej pory w pełni rozpoznany.

Celem niniejszej pracy jest określenie roli, jaką reprezentacja struktury przestrzennej krajobrazu pełni w procesie modelowania łączności siedliskowej. W szczególności w pracy skupiono się na reprezentacjach matrycy krajobrazowej (rozumianej jako obszar pomiędzy płatami siedliskowymi) i ocenie ich wpływu na różne aspekty łączności siedliskowej, w tym na wyznaczanie i charakterystykę korytarzy migracyjnych oraz na ocenę ważności poszczególnych płatów siedliskowych dla zachowania łączności. Duży nacisk położono na ciągłe reprezentacje matrycy, ze względu na ich rosnącą rolę w modelowaniu krajobrazu. Poza wymienionymi wyżej typowo metodologicznymi celami, niniejsza praca odnosi się również do zagadnień praktycznych ochrony łączności siedliskowej i wyznaczania barier w przemieszczaniu się dużych ssaków w Karpatach, na przykładzie żubra (*Bison bonasus*) oraz niedźwiedzia brunatnego (*Ursus arctos*).

Na pierwszym etapie badań wypracowano ogólną procedurę modelowania łączności siedliskowej, łączącą modele statystyczne selekcji zasobów (ang. *resource selection functions*), teorię grafów oraz analizy kosztowe (ang. *least-cost analysis*). Następnie, stosując wypracowaną procedurę modelowania łączności, dla zbioru obszarów testowych cechujących się różnymi własnościami struktury przestrzennej przeprowadzono ocenę wpływu reprezentacji matrycy (binarna, skategoryzowana oraz ciągła) na przebieg i charakterystyki korytarzy migracyjnych oraz ważność poszczególnych płatów siedliskowych. Na kolejnym etapie szczegółowo porównano powierzchnie kosztowe oraz korytarze migracyjne wygenerowane w oparciu o ciągłe reprezentacje matrycy będące pochodnymi modeli siedliskowych (ang. *habitat models*) i modeli przemieszczania się (ang. *movement models*). Ostatnim etapem pracy była ewaluacja korytarzy migracyjnych wyznaczonych jako strefy łączności o przestrzennie zróżnicowanych warunkach dla przemieszczania się organizmów.

Wyniki przeprowadzonych analiz wykazały, że rola reprezentacji matrycy w procesie modelowania łączności siedliskowej różni się w zależności od aspektu łączności, który podlega analizie. Dobór reprezentacji matrycy miał znaczący wpływ na przebieg oraz

charakterystykę (długość, odległość kosztowa) korytarzy migracyjnych, natomiast nieznaczny na ważność płatów siedliskowych. Ten drugi aspekt łączności siedliskowej w dużo większym stopniu zależał od doboru oraz parametryzacji wskaźników łączności, jakie zostały wykorzystane do obliczenia ważności płatów siedliskowych, niż od wyboru reprezentacji matrycy.

Porównanie ciągłych reprezentacji matrycy będących pochodnymi modeli siedliskowych i modeli przemieszczania się wykazało, że modele siedliskowe mogą prowadzić do niedoszacowania łączności wzdłuż korytarzy migracyjnych. Wpływ na charakterystyki wyznaczonych korytarzy migracyjnych miał jednak nie tylko rodzaj zastosowanych danych biologicznych (lokalizacje punktowe w przypadku modeli siedliskowych oraz kroki w przypadku modeli przemieszczania się), ale także inne aspekty parametryzacji modeli, między innymi związane ze zmiennymi objaśniającymi i sposobem ich próbkowania. Modelowanie korytarzy migracyjnych w postaci stref łączności pozwoliło natomiast na identyfikację wewnątrz korytarzy barier oraz obszarów krytycznych dla zachowania łączności pomiędzy płatami siedliskowymi.

Niniejsza praca stanowi wkład w badania dotyczące łączności siedliskowej, gdyż pozwala lepiej zrozumieć zależność wyników modelowania łączności od zastosowanej reprezentacji struktury przestrzennej krajobrazu. Wyniki przeprowadzonych analiz podkreśliły znaczenie ciągłej reprezentacji matrycy zarówno w szacowaniu powierzchni kosztowych pozwalających na modelowanie przemieszczania się gatunków, jak i w wyznaczaniu i obliczaniu charakterystyk korytarzy migracyjnych. Wśród metod modelowania ciągłych reprezentacji matrycy preferowane powinny być te, które stosują modele statystyczne selekcji zasobów oraz bezpośrednie dane o przemieszczaniu się zwierząt. W przypadku, gdy zastosowanie ciągłej reprezentacji matrycy nie jest możliwe, wyniki oceny łączności siedliskowej przeprowadzonej na podstawie dyskretnej reprezentacji matrycy powinny być traktowane z dużą ostrożnością, zwłaszcza jeśli celem analiz było wyznaczenie i ocena drożności korytarzy migracyjnych.

Abstract

Habitat connectivity is an important topic in landscape ecology and conservation planning, as it ensures dispersal and gene flow, both of which are crucial for avoiding population declines and extinction, especially in today's increasingly human-dominated and fragmented landscapes. To increase the efficiency of monitoring and conservation efforts, it is important to better understand tools and measures designed to assess habitat connectivity, as well as uncertainties related to different stages of connectivity modeling process. Although different landscape structure representations have been used to study habitat connectivity, the role played by various landscape structure representations in connectivity assessments has not been fully understood yet.

This research aimed to investigate and evaluate the role of landscape structure representation in connectivity assessment design and results. In particular, it focused on matrix (i.e., the land area in between habitat patches) representations, and investigated in detail their influence on delineation and characteristics of movement corridors, and evaluation of importance of individual habitat patches for the overall connectivity within a habitat network. Special emphasis was put on continuous matrix representations due to their emerging significance in landscape ecological modelling. Moreover, although this study was devoted mainly to methodological considerations mentioned above, it also referred to conservation issues related to habitat connectivity and movement barriers for two large mammals, European bison (*Bison bonasus*) and brown bear (*Ursus arctos*) in the Carpathians.

In the first stage, a general connectivity modeling framework integrating resource selection functions, graph theory and least-cost analysis was developed as a basis for further comparative analyses of matrix representations. Then, the effects of different matrix representations (binary, categorical, and continuous) on habitat connectivity assessments (delineation of corridors, and the importance of patches) were evaluated for a set of landscapes with varying spatial structures. Afterwards, continuous matrix representations derived from habitat and movement models were compared in detail in terms of spatial patterns and distributions of resistance values derived from those models, and locations and characteristics of movement corridors. Finally, movement corridors were investigated as connectivity zones with continuously varying permeability to movement.

A general conclusion of this study is that the role of landscape structure representation in habitat connectivity modeling varies depending on which aspect of connectivity is addressed. The results showed that different matrix representations greatly affect assessment of corridors, including their lengths, effective distances, and spatial locations, but not the relative rankings of patch importance. Furthermore, it was found that the selection and parameterization of connectivity measures had a much stronger effect on the calculation of patch importance than the matrix representation itself.

Continuous matrix representations derived from habitat models may underestimate connectivity along corridors. However, not only the type of biological data (detection data for habitat models versus pathway data for movement models) was important for corridor delineation, but also other aspects of parameterization of continuous matrix representations, such as the scale at which predictor variables were measured, or the sampling method. Representing corridors as connectivity zones rather than discrete paths allowed for delineation of barriers and identification of areas of critical importance for maintaining the connectivity within corridors.

This research provides several insights into knowledge on connectivity assessment, and their robustness with respect to matrix representation. In general, the results of this study highlighted the importance of continuous matrix representation for both modelling the resistance to movement, and delineation and characteristics of movement corridors. Among continuous matrix representations, those derived with regression functions parameterized with actual species movement data should be preferred. When continuous matrix representation may not be used, results obtained from simpler matrix representations (especially binary ones) should be treated with caution, especially if the goal of analysis is to delineate meaningful movement corridors.