

Wykorzystanie modeli HSI w waloryzacji siedlisk przyrodniczych

Anna Osmólska, Magdalena Hędrzak

Abstrakt. Obecnie poszukiwane są skuteczne metody wyceny jakości siedlisk przyrodniczych. Jedną z nich jest Procedura Wyceny Siedliska (HEP – *Habitat Evaluation Procedures*), opierająca się na założeniu, że jakość siedliska dla danego gatunku można opisać za pomocą indeksu HSI (*Habitat Suitability Index* – Indeks Przydatności Siedliska). W artykule przedstawiono podstawowe założenia modelu HSI, procedurę jego konstruowania oraz opisano dwa przykłady: model „klasyczny” dla kuropatwy i model dla niedźwiedzia czarnego, w którym wykorzystano system GIS. Metoda jest obiektywna i standaryzowana, co stwarza duże możliwości jej zastosowania w różnych działaniach związanych z gospodarowaniem zasobami przyrody.

Słowa kluczowe: HSI, wycena siedliska, modelowanie, GIS, pojemność siedliska

Abstract. Application of HSI models to habitat evaluation. Nowadays effective methods of habitat quality evaluation are being sought. One of them is Habitat Evaluation Procedures (HEP) based on the assumption that habitat quality for selected species can be described by Habitat Suitability Index (HSI). In this article, basic assumptions of HSI model and the procedure of its construction were presented and two examples of HSI model were described: classic model for gray partridge and GIS-based model for black bear. This is an objective and standardized method, which creates opportunities for its application in various nature management activities.

Key words: HSI, habitat evaluation, modelling, GIS, carrying capacity

Wstęp

Rozwój cywilizacyjny wiąże się z przekształcaniem środowiska na dużą skalę. Utrata, degradacja i fragmentacja siedlisk przyrodniczych jest obecnie jednym z największych zagrożeń dla funkcjonowania populacji wielu gatunków zwierząt.

Wg Konwencji o różnorodności biologicznej (1992) podstawowym wymogiem dla ochrony różnorodności biologicznej jest ochrona ekosystemów i naturalnych siedlisk in-situ. Strony konwencji mają obowiązek przeprowadzania ocen oddziaływania na środowisko wszystkich przedsięwzięć, które mogą mieć dla niego negatywne skutki. Z tego powodu poszukiwane są metody wyceny jakości siedlisk, walorów siedliskowych pod kątem występowania różnych gatunków zwierząt, jak i sposobów oceny oddziaływania planowanych inwestycji na ekosystemy. Jedną z takich metod jest Procedura Wyceny Siedliska (HEP – *Habitat Evaluation Pro-*

cedures), która opiera się na założeniu, że jakość siedliska dla danego gatunku można opisać za pomocą indeksu HSI (*Habitat Suitability Index* – Indeks Przydatności Siedliska).

Celem pracy jest przedstawienie podstawowych założeń metody oraz zastosowania technik GIS w tworzeniu modeli HSI. Opisano także przykładowe modele HSI, opracowane przez zagranicznych autorów dla kuropatwy i niedźwiedzia.

Opis Procedury Wyceny Siedliska (HEP)

W latach 70. XX w. w Stanach Zjednoczonych dostrzeżono zagrożenia związane z degradacją środowiska na skutek intensywnego rozwoju infrastruktury. Pojawiła się potrzeba opracowania procedur, które umożliwiłyby ocenę skali oddziaływania planowanych inwestycji na ekosystemy. W 1974 r. amerykańska federalna służba Fish and Wildlife Service podjęła się opracowania metodyki obiektywnej procedury, która miała opierać się o wartość przyrodniczą siedliska, a nie o jego wartość ekonomiczną (Schamberger i Krohn 1982). Procedura Wyceny Siedliska (HEP) (U.S. Fish and Wildlife Service 1976) była metodą standaryzowaną i obiektywną, dostarczającą schematu postępowania oraz ujednoliconego sposobu wyceny siedlisk dla różnych gatunków zwierząt. Te cechy metody znacznie ułatwiły i poprawiły komunikację między różnymi instytucjami decyzyjnymi. W 1980 r. opublikowano udoskonaloną wersję Procedury Wyceny Siedliska (U.S. Fish and Wildlife Service 1980 a, 1980 b, 1981; Schamberger i Krohn 1982).

Procedura HEP pozwala na:

- porównywanie różnych obszarów pod względem jakości siedliska lub jego przydatności dla wybranego gatunku w tym samym czasie,
- badanie (lub przewidywanie) zmian jakości siedliska zachodzących w czasie na tym samym obszarze na skutek procesów naturalnych oraz związanych z celowymi przekształceniami (U.S. Fish and Wildlife Service 1980b).

Procedura HEP oparta jest na kilku podstawowych założeniach:

1. Jakość siedliska można opisać w sposób liczbowy. Pozwala to na porównanie rozwiązań alternatywnych, dzięki czemu można przeprowadzić analizę oddziaływania danego czynnika na siedlisko (U.S. Fish and Wildlife Service 1980a).
2. Istnieją mierzalne czynniki abiotyczne i biotyczne, które są skorelowane z jakością siedliska obliczoną dla danego gatunku (U.S. Fish and Wildlife Service 1981), np. procentowy udział powierzchni pól uprawnych w przypadku kuropatwy (Allen 1984) czy wiek drzewostanu w przypadku kuny (Allen 1982).
3. Zależności pomiędzy jakością siedliska określoną dla danego gatunku a czynnikami siedliskowymi mogą być szacowane przy użyciu modelu. Model ten nazwany jest modelem HS (*Habitat Suitability Model*) lub HSI (*Habitat Suitability Index*).
4. Indeks HSI obrazuje, w jakim stopniu kluczowe dla gatunku składniki siedliska na danym obszarze są w stanie zaspokoić jego wymagania życiowe. Przy użyciu tych samych zmiennych porównywane są warunki siedliskowe na badanym obszarze z warunkami optymalnymi dla występowania możliwie najwyższego zagęszczenia gatunku na takiej samej powierzchni. Indeks HSI jest wskaźnikiem pojemności siedliska.
5. Indeks HSI pozostaje w zależności liniowej z pojemnością siedliska. Jeżeli zależność pomiędzy tymi wielkościami nie jest znana, przyjmowane jest założenie, że jest ona

liniowa, natomiast jeżeli zależność jest nieliniowa, dokonuje się przekształceń matematycznych tak, aby otrzymać zależność liniową (U.S. Fish and Wildlife Service 1980a).

Model HSI

Model HSI oparty jest na Indeksie Przydatności Siedliska (HSI), który obliczany jest jako iloraz wartości liczbowych, wyrażających warunki siedliskowe na badanym obszarze i wartości obrazujących optymalne warunki siedliskowe dla danego gatunku. W znaczeniu ogólnym indeks HSI wyrażony jest wzorem:

$$\text{HSI} = \frac{\text{warunki siedliskowe na danym obszarze}}{\text{warunki optymalne dla gatunku}}$$

HSI przyjmuje wartości w przedziale $<0;1,0>$. Wartość 0,0 oznacza, że siedlisko w żadnym stopniu nie spełnia warunków dla występowania danego gatunku. Wartość indeksu 1,0 oznacza, że siedlisko charakteryzuje się optymalnymi warunkami dla bytowania danego gatunku. Założenie o liniowej zależności pomiędzy indeksem HSI, a pojemnością siedliska oznacza, że zmiana wartości indeksu o jedną jednostkę, bez względu na wartość wyjściową, odpowiada zmianie o stałą wartość w pojemności siedliska (np. zmiana wartości indeksu z 0,2 na 0,3 odpowiada takiej samej zmianie w pojemności siedliska, jak zmiana indeksu z 0,4 na 0,5).

Niniejszy opis procedury tworzenia modelu HSI został opracowany na podstawie podręcznika wydanego przez U.S. Fish and Wildlife Service (1981).

Etapy tworzenia modelu HSI:

Wyznaczenie przedmiotów modelu

Przedmiotem modelu HSI najczęściej jest pojedynczy gatunek, ale może to być także grupa gatunków określonego taksonu, określone stadium życiowe lub konkretne wymaganie życiowe gatunku. Etap ten obejmuje określenie zasięgu geograficznego, dla którego model ma być zastosowany. Definiowany jest także sezon, dla którego tworzony jest model, np. w przypadku ptaków może to być sezon lęgowy.

Wybór kluczowych zmiennych charakteryzujących siedlisko

Wybór zmiennych dokonywany jest w oparciu o przegląd literatury i opracowań naukowych, opisujących wyniki badań nad przedmiotem modelu. Zmienne powinny spełniać następujące kryteria:

- występuje zależność między zmienną a pojemnością siedliska dla danego gatunku,
- związek pomiędzy zmienną a pojemnością siedliska jest znany przynajmniej na podstawowym poziomie,
- zmienna jest łatwa do oznaczenia.

Przy wyborze zmiennych siedliskowych uwzględniany jest sezon, dla którego tworzy się model, rodzaje siedlisk wykorzystywane przez gatunek, wymagania życiowe, które zaspokajają dany rodzaj siedliska (np. baza żerowa, warunki osłonowe, miejsca rozrodcze), a w przypadku modeli dla ryb – także stadium rozwojowe. Zmiennym przypisywane są informacje o tym,

z zaspokojeniem którego wymagania życiowego są związane, w którym rodzaju siedliska i w którym sezonie (ryc. 1).

Kolejnym etapem jest określenie zależności przestrzennych między wybranymi zmiennymi oraz udziału i układu przestrzennego tych rodzajów siedlisk, które zaspokajają poszczególne potrzeby.

Konstrukcja modelu

Konstruowanie modelu HSI polega na określeniu zależności między wybranymi zmiennymi charakteryzującymi siedlisko. Zależności te mogą być przedstawione w formie słownej, graficznej, a najczęściej mają charakter funkcji matematycznych.

Dla każdej zmiennej siedliskowej wyznaczany jest indeks przydatności SI. Zależność pomiędzy wartością zmiennej a indeksem SI przedstawiany jest najczęściej w postaci wykresu (ryc. 2). Następnie, w formie równania, określane są zależności pomiędzy zmiennymi związanymi z zaspokajaniem poszczególnych wymagań życiowych gatunku. Najczęściej stosowane do tego celu funkcje matematyczne to: funkcja minimum, maksimum, oraz równania średniej arytmetycznej, geometrycznej i ważonej. Stworzenie algorytmu wiążącego wartości zmiennych związanych z poszczególnymi wymaganiami żywymi składa się na ostateczną wartość indeksu HSI.

Dokumentacja modelu

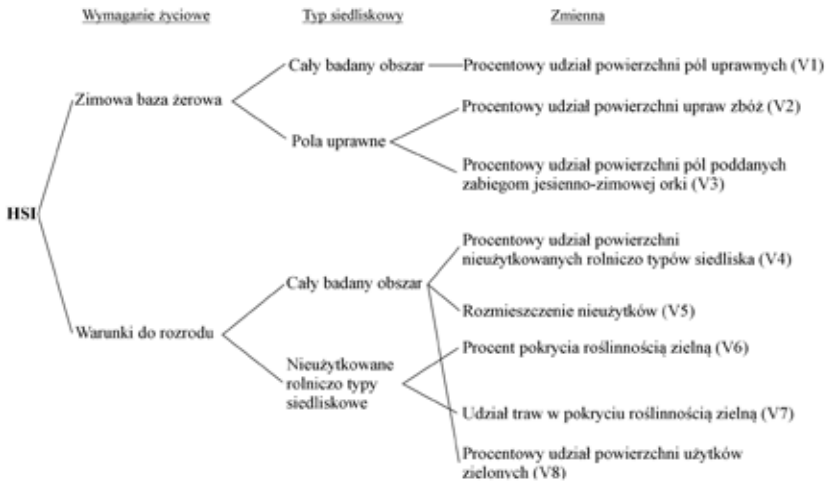
Istotnym elementem każdego modelu HSI jest opracowanie jego dokumentacji, obejmującej informacje dotyczące wymagań życiowych i preferencji siedliskowych gatunku, oraz struktury i podstawowych założeń modelu.

Weryfikacja modelu

Autorzy podręcznika dotyczącego standardów tworzenia modeli HSI zalecają, aby proces weryfikacji modelu obejmował cztery etapy: 1) recenzja autora, 2) próbne szacowanie wartości siedliska w oparciu o treningowe dane rzeczywiste lub generowane sztucznie, charakteryzujące różne warunki siedliskowe w celu sprawdzenia czułości i prawidłowości działania modelu, 3) recenzja specjalisty lub zespołu specjalistów w zakresie zagadnień dotyczących danego gatunku, 4) test na podstawie rzeczywistych danych i pomiarów wykonanych w terenie.

Przykład modelu HSI dla kuropatwy

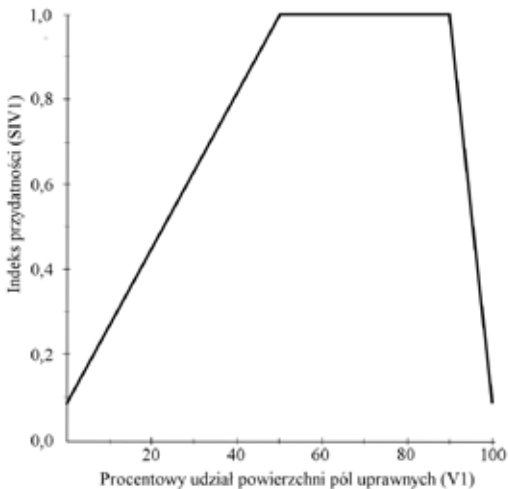
W latach 80. XX w. w USA opracowano modele HSI dla ponad 100 gatunków zwierząt (Roloff i Kernohan 1999). Przykładem obrazującym „klasyczny” model HSI jest model dla kuropatwy *Perdix perdix*, opracowany przez Allena (1984). W modelu uwzględniono dwa rodzaje wymagań życiowych, które uznano za kluczowe dla przeżycia kuropatwy – zimowa baza żerowa oraz warunki do rozrodu, z którymi powiązано 8 zmiennych (V1-V8) (ryc. 1).



Ryc. 1. Układ powiązań między zmiennymi siedliskowymi, typami siedliskowymi i wymaganiami żywymi w modelu HSI dla kuropatwy (Allen 1984)

Fig. 1. Relationships of habitat variables, cover types and life requisites in the gray partridge HSI model

Wartości indeksu SI dla poszczególnych zmiennych określono na podstawie specjalistycznej literatury i przedstawiono za pomocą wykresów (ryc. 2).



Ryc. 2. Zależność pomiędzy zmienną siedliskową V1 a wartością indeksu przydatności siedliska SI w modelu HSI dla kuropatwy (za Allen 1984)

Fig. 2. Relationship between habitat variable V1 and suitability index (SI) in the gray partridge HSI model

W zmiennej składowej ogólnego indeksu HSI dotyczącej zimowej bazy żerowej (winter food index – WFI) wartości SI dla poszczególnych zmiennych siedliskowych powiązano za pomocą równania:

$$WFI = (SIV1 \times SIV2)^{\frac{1}{3}} \times SIV3$$

Zmienne określające warunki rozrodu ujęto w równaniu składowego indeksu miejsc rozrodu (Reproduction Index – RI):

$$RI = \frac{2\{[SIV4 \times (SIV6 \times SIV7)^{\frac{1}{3}}] \times SIV5\} + SIV8}{3}$$

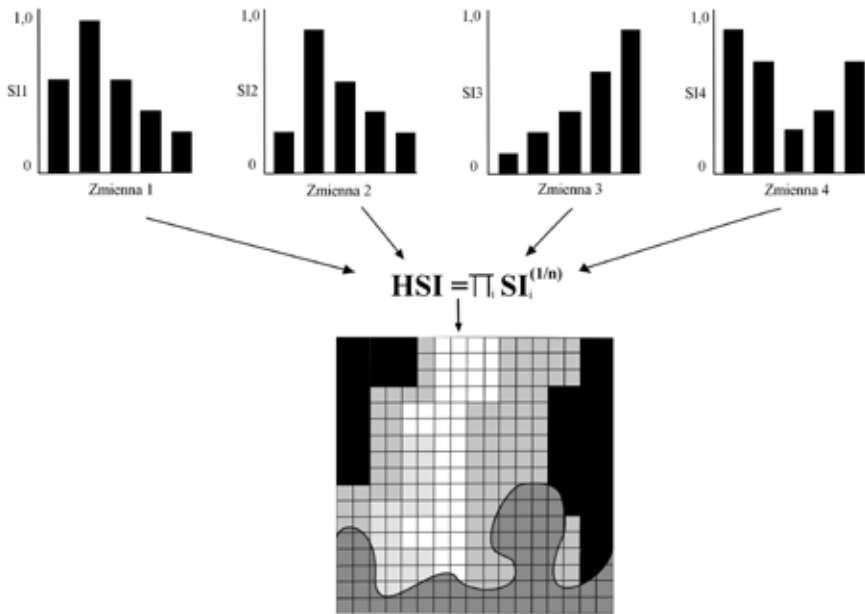
Ogólny Indeks Przydatności Siedliska (HSI) dla kuropatwy jest obliczany jako funkcja minimum wartości indeksów składowych dla zimowej bazy żerowej i warunków do rozrodu.

$$HSI = \min (WFI; RI)$$

Modelowanie HSI przy użyciu systemu GIS

W zarządzaniu danymi przestrzennymi coraz powszechniej stosowany jest GIS (*Geographic Information System*), czyli narzędzie służące do pozyskiwania, przechowywania, analizy i prezentacji danych, związanych z określoną lokalizacją w środowisku przyrodniczym (Werner 1992). Podstawowym wytworem systemu GIS są warstwowe mapy cyfrowe. Obiekty na mapach są połączone z relacyjnymi bazami danych, zawierającymi dane opisowe. Dane graficzne na mapach cyfrowych mogą mieć postać rastrową i wektorową. Dane rastrowe uzyskuje się poprzez nałożenie siatki kwadratów na obraz mapy. Dzięki połączeniu z bazą danych każdy obiekt graficzny (np. pojedynczy kwadrat, tzw. raster) może być opisany za pomocą wielu cech. Dzięki wymienionym cechom GIS jest narzędziem bardzo przydatnym w konstruowaniu modeli HSI.

W modelowaniu HSI przy użyciu systemu GIS najczęściej wykorzystywane są mapy rastrowe. Pojedynczy raster w obrębie danej warstwy mapy może mieć przypisane różne atrybuty. Poszczególne warstwy można łączyć ze sobą za pomocą algorytmów, co umożliwia dokonywanie obliczeń między rastrami z różnych warstw. W pojedynczej warstwie rastrów przypisywane są składowe wartości SI. Poprzez połączenie warstw za pomocą równania lub funkcji matematycznej można otrzymać mapę, na której dla każdego rastra obliczana jest ostateczna wartość indeksu HSI (ryc. 3).



Ryc. 3. Schemat tworzenia cyfrowych map rastrowych obrazujących indeks HSI poprzez połączenie składowych wartości SI w każdym rastrze

Fig. 3. The chart of HSI digital grid map production by combining the SI values within each grid

W modelowaniu przy użyciu systemu GIS możliwe jest uwzględnienie zmiennych siedliskowych o charakterze przestrzennym, których w modelowaniu klasycznym nie brano pod uwagę. Na podstawie zadanych algorytmów można wyliczać różne wartości SI dla rastrów z uwzględnieniem ich odległości od jakiegoś obiektu, np. drogi, lub obliczać powierzchnię płyta danego rodzaju siedliska, czy uwzględnić efekt krawędzi, gdy np. zakłada się, że przydatność siedliska blisko granicy lasu jest niższa (Larson et al. 2003).

Istnieją dwa podejścia do tworzenia modelu SI: dedukcyjne i indukcyjne. W podejściu dedukcyjnym zależności między występowaniem danego gatunku, a wybranymi cechami siedliska wyznaczone są na podstawie wiedzy eksperta. Produktem systemu GIS w tym przypadku jest mapa tematyczna przydatności siedliska, na której wyróżnione są potencjalne siedliska danego gatunku, a nie miejsca, w których rzeczywiście występuje. W podejściu indukcyjnym zależność między wymaganiami gatunku a cechami siedliska jest generowana na podstawie dopasowania próbnych obserwacji wykonanych dla gatunku do określonych wartości zmiennych siedliskowych (Kushwaha i Roy 2002; Ottaviani et al. 2004).

Przykład modelu HSI opracowanego przy użyciu systemu GIS

W 2003 r. Larson et al. opracowali modele HSI dla 12 leśnych gatunków zwierząt występujących na terenie Mark Twain National Forest, położonym w Południowym Missouri w USA. Jednym z nich był model HSI dla niedźwiedzia czarnego *Ursus americanus*. Uwzględniono w nim cztery kluczowe wymagania życiowe gatunku, z którymi powiązano cztery zmienne siedliskowe SI₁-SI₄.

Wartość każdej składowej SI wyliczona została przez oprogramowanie systemu GIS dla każdego pojedynczego rastra mapy. Każda składowa została przedstawiona jako osobna warstwa mapy. Graficzne przedstawienie ostatecznego indeksu HSI było możliwe dzięki zastosowaniu algorytmu umożliwiającego obliczenie HSI dla każdego rastra z uwzględnieniem warstwy każdej składowej (ryc. 4).

W tabeli 1 przedstawiono składowe modelu, metodę ich wyznaczania oraz zmienne, które do tego posłużyły, a także równanie, które opracowano do wyliczenia całkowitego indeksu HSI.

Tab. 1. Parametry modelu HSI dla niedźwiedzia czarnego (za Larson et al. 2004)

Table 1. Black bear HSI model parameters

Wymaganie życiowe	Składowa modelu SI	Zmienne, na podstawie których wyliczono SI	Indeks HSI
Jesienno-zimowa baza żerowa	SI1: Produkcja twardych owoców leśnych	Model uwzględniający gatunek dominujących drzew, wiek drzewostanu, typ siedliskowy	$HSI = [\max(SI1, SI2) \times SI3]^{0,5} \times SI4$
Letnio-jesienna baza żerowa	SI2: Produkcja miękkich owoców leśnych	Wiek drzewostanu w zależności od typu siedliskowego	
Baza żerowa ogółem	SI3: Rozmieszczenie pokarmów sezonowych	Analiza ruchomego okna dla SI1 i SI2	
Warunki osłonowe	SI4: Odległość od drogi	Algorytm odległości od drogi	

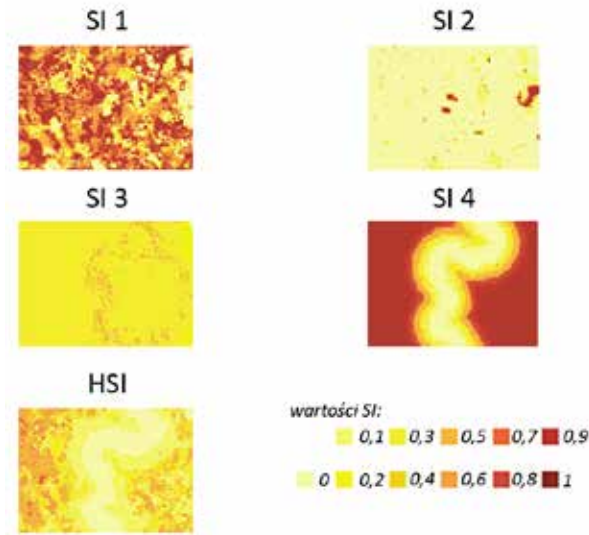
Podsumowanie

Modelowanie HSI obrazuje zależności między gatunkiem a warunkami siedliskowymi konkretnego obszaru. Modele tego typu mogą okazać się użyteczne przy:

- rozwiązywaniu sytuacji konfliktowych,
- ocenie oddziaływania inwestycji na środowisko przyrodnicze,
- gospodarowaniu populacjami zwierząt łownych poprzez wyznaczenie pojemności łowisk dla poszczególnych gatunków,
- aktywnej ochronie gatunków zagrożonych, np. poprzez wycenę siedliska pod kątem restytucji.

W Polsce przez wiele lat nie wykazywano zainteresowania tą metodą. Dopiero w ostatnich latach pojawiły się publikacje, w których wykorzystano model HSI dla takich gatunków jak: traszka grzebieniasta (Pabijan 2010), żubr (Kuemmerle et al. 2010) i głośzec (Brzeziecki et

al. 2011). Przy obecnym tempie przekształceń środowiska ta niedoceniana dotychczas metoda może znaleźć szerokie zastosowanie.



Ryc. 4. Składowe oraz ostateczna wersja modelu HSI dla niedźwiedzia czarnego na obszarze Mark Twain National Forest w Południowym Missouri w USA (za Larson et al. 2004)

Fig. 4. Components (SI) and final black bear HSI model within Mark Twain National Forest in southern Missouri, USA

Literatura

- Allen A.W. 1982. Habitat Suitability Index (HSI) models: Marten (*Martes americana*). USDI Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Allen A.W. 1984. Habitat Suitability Index (HSI) models: Gray Pertridge (*Perdix perdix*). USDI Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Brzeziecki B., Drozdowski S., Zawadzka D., Zawadzki J., Buraczyk W., Gawron L., Bielak K. 2011. Ocena preferencji środowiskowych głuszca *Tetrao urogallus* i możliwość ich uwzględnienia w realizacji zadań z hodowli lasu. Stud. i Mat. CEPL w Rogowie R. 13. Zeszyt 2 (27): 267-274.
- Konwencja o różnorodności biologicznej, sporządzona w Rio de Janeiro dn. 5 czerwca 1992 r.
- Kuemmerle T., Perzanowski K., Chaskovskyy O., Ostapowicz K., Halada L., Bashta A.T., Kruhlov I., Hostert P., Waller D.M., Radeloff V.C. 2010. European Bison habitat in the Carpathian Mountains. *Biological Conservation* 143: 908-916.
- Kushwaha S.P.S., Roy P.S. 2002. Geospatial technology for wildlife habitat evaluation. *Tropical Ecology* 43(1): 137-150.
- Larson M.A., Dijak W.D., Thompson, F.R., Millspaugh J.J. 2003. Landscape-level habitat suitability models for twelve species in southern Missouri. North Central Research Station. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

- Ottaviani D., Lasinio G.J., Boitani L. 2004. Two statistical methods to validate habitat suitability models using presence-only data. *Ecological Modelling* 179: 417-443.
- Pabijan M. 2010. Traszka grzebieniasta *Triturus cristatus* (Laurenti, 1768). W: Makomaska-Juchiewicz M (red.) *Metodyka monitoringu – przewodnik metodyczny, część pierwsza*. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Roloff G. J., Kernohan B.J. 1999. Evaluating reliability of habitat suitability index models. *Wildlife Society Bulletin* 27: 973-985.
- Schamberger M., Krohn W.B. 1982. Status of the Habitat Evaluation Procedures. *Transactions of North American Wildlife & Natural Resources Conference* 47: 154-164.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1976. *Habitat Evaluation Procedures: For use by the Division of Ecological Services in evaluating water and related land resource development projects*. Mimeo report. USDI Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1980a. *Habitat as a basis for environmental assessments*. 101 ESM. USDI Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services, Washington, D.C.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1980b. *Habitat Evaluation Procedures (HEP)*. ESM 102. USDI Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services, Washington, D.C.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1981. *Standards for the development of Habitat Suitability Index models*. 103 ESM. USDI Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services, Washington, D.C.
- Werner P. 1992. *Wprowadzenie do geograficznych systemów informacyjnych*. Warszawa, Wydz. Geografii i Studiów Region. Uniwersytetu Warszawskiego.

Anna Osmólska, Magdalena Hędrzak
Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
osmolska.anna@gmail.com