

Fragmentarea și conectivitatea la nivelul peisajelor din ecoregiunea Munților Carpați - sinteză

M. Mustăța

Mustăța M. 2021. Fragmentation and connectivity at landscape level from Carpathian mountains ecoregion - A synthesis. Bucov. For. 21(2): 199-216

Abstract. Land use fragmentation and connectivity influence the interactions between people, flora and fauna in mountain landscapes located in heavily anthropized areas, such as Europe. The Carpathian Mountains ecoregion is an extremely sensitive area to change, as it includes both man-dominated areas where economic activities take place, and natural ecosystems with high conservation value and rich biodiversity. The aim of this paper was to develop a synthesis of scientific literature related to the fragmentation and connectivity of the Carpathian Mountain ecoregions landscapes. From a methodological point of view, queries were made in the international ISI Web of Knowledge database, and the search terms used were “Carpathian Mountains”, “fragmentation” and “connectivity”. The results revealed the presence of 70 studies, most of which were intended to assess the connectivity of protected mammal habitats through the least cost method, graph theory and landscape metrics. The importance of the results consists in outlining an overview of the most sensitive environmental problems faced by mountain areas characterized by the presence of rich biodiversity, respectively in highlighting the most useful quantitative methods for modeling the changes to which these ecosystems are subjected, as a result of human pressure.

Keywords: fragmentation, connectivity, Carpathian Mountains ecoregion, protected species, forest areas, least cost, landscape metrics.

Author. Mihai Mustăța (mustăța_mihai_1991@yahoo.com) - Simion Mehedinți Doctoral School, Faculty of Geography, University of Bucharest, Nicolae Bălcescu Bld. Nr. 1 Bucharest, 010041, Romania

Manuscript received November 07, 2021; revised December 24, 2021; accepted December 30, 2021; online first December 31, 2021.

Introducere

În contextul intensificării presiunii antropice asupra mediului și resurselor naturale, fragmentarea și conectivitatea peisajelor reprezintă două dintre cele mai studiate procese, fiind în același timp unele din crizele de mediu grave din perioada modernă, care sunt caracterizate

de o largă aplicabilitate în domenii precum ecologie, conservarea biodiversității și planificarea spațială durabilă a așezărilor umane. Fragmentarea a fost definită din perspectiva ecologiei peisajelor ca reprezentând procesul de fărâmițare a parcelelor inițiale de habitat în unele mai restrânse ca întindere și mai izolate, fiind considerată una dintre etapele fundamen-

tale ale modificării peisajelor (Forman 1995). Conceptul de conectivitate reprezintă un element esențial al structurii și implicit al funcționării peisajelor, fiind considerată capacitatea unui peisaj de a favoriza sau restricționa deplasarea anumitor specii în vederea accesului la resurse (Taylor și al. 1993).

Fragmentarea și conectivitatea peisajelor au devenit subiecte centrale ale preocupărilor științifice preponderent în a doua jumătate a anilor 90, când aceste procese au fost percepute ca o consecință a transformării antropice a ecosistemelor terestre în zone urbane, rurale, agricole sau semi-naturale, ca urmare a intensificării activităților economice (Kim și Weaver 1994). Importanța înțelegerii și implicit investigării acestor fenomene a fost argumentată inițial din perspectiva amenințării uriașe pe care modificarea habitatelor o manifestă la adresa diversității biologice pe scară globală (Sorrell 1998). Complementar, au fost intens analizate efectele extinderii fragmentării și reducerii conectivității asupra habitatelor populațiilor de animale sălbatice în contextul expansiunii urbane și a terenurilor agricole în detrimentul zonelor naturale (Andrén 1994). De asemenea, unul dintre cele mai abordate subiecte în această direcție a fost reprezentat de către studiul efectelor negative asupra biodiversității (precum izolarea sau creșterea ratei mortalității ca urmare a accidentelor rutiere) ale fragmentării datorită construirii de rețele rutiere care determină reducerea conectivității habitatelor naturale (Forman 2000). Fragmentarea antropică diminuează conectivitatea peisajelor naturale și afectează capacitatea speciilor terestre de a se deplasa sau reproduce, reprezentând una dintre cauzele majore ce declanșează declinul și uneori chiar extincția animalelor dependente de structura și calitatea funcționalității ecologice a unor habitate specifice (European Environmental Agency 2011). Astfel, reducerea fragmentării și implicit îmbunătățirea conectivității peisajelor reprezintă două dintre principalele tendințe în contextul protecției și conservării biodiversității (Saura și al. 2011).

Fragmentarea și reducerea conectivității peisajelor afectează funcționalitatea ecologică a habitatelor speciilor și influențează dinamică metapopulațiilor. Fragmentarea poate genera izolarea sau subdivizarea biologică a populațiilor unei specii dependente de un habitat intact, motiv pentru care ratele de colonizare ale speciei respective vor fi mai reduse, iar populația ar putea ajunge în declin (Hanski 1989, With și King 1999). În plus, habitatelor fragmentate și slab conectate determină populațiile odată continue să se micșoreze și adesea să se despartă în subpopulații mai mici, cu diferite niveluri de conexiune între ele, devenind astfel o metapopulație. Pe măsură ce populațiile locale ale unei anumite specii fluctuează în mărime, ele devin vulnerabile la dispariție în perioadele în care numărul lor este scăzut (van Ort și al. 2011). Acest fenomen este frecvent întâlnit la speciile de macrofaună (cu precădere carnivore mari) care încă se mai se găsesc în statele dezvoltate din Europa Occidentală, precum este cazul ursului brun Apenin (*Ursus arctos marsicanus*) din Italia, unde o perioadă îndelungată de presiune antropică a dus la fragmentarea puternică a habitatelor și generarea unor populații locale izolate, reduse din punct de vedere numeric și extrem de vulnerabile la extincție (Gervasi și Ciucci 2018).

În ultimii ani, evaluarea fragmentării peisajelor a devenit o prioritate în numeroase zone de pe glob. Schimbările aferente utilizării terenurilor, extinderea infrastructurilor turistice și rutiere, urbanizarea sau defrișările reprezentate surse caracterizate de o magnitudine fără precedent ce stau la baza pierderii, degradării sau fragmentării peisajelor forestiere, cu precădere, la nivelul Europei (Kindlmann și Burel 2008). În Europa, fragmentarea generată de către extinderea rețelei rutiere are ca urmări reducerea biodiversității, pierderea habitatelor, majorarea mortalității generate de către traficul autovehiculelor, subdivizarea populațiilor, favorizarea efectelor de barieră, inaccesibilitatea la resurse cât și extinderea efectului de margine (European Environmental Agency 2011). La nivelul Europei, se remarcă diferențe ma-

jore între statele din regiunea Scandinaviei caracterizate de o fragmentare redusă a peisajelor naturale și țările din regiunea vestică, sudică și centrală, unde fragmentarea de origine antropică istorică precum și cea naturală este intensă. Valori mari ale fragmentării sunt specifice și regiunilor montane de la nivelul statelor Europăi Centrale, precum este cazul ecoregiunii Munților Carpați (Pătru-Stupariu și al. 2015).

Munții Carpați reprezintă o ecoregiune caracterizată de un potențial ecologic semnificativ la nivelul continentului european, materializat prin prisma prezenței unor întinse habitate primare cu valoare ridicată de conservare, între care se remarcă păduri seculare cu amestecuri de rășinoase și foioase (Biriș și Veen 2005), în care sunt ocrotite populații considerabile de elemente zoogeografice de interes comunitar în cadrul Europei, precum cele ale carnivorelor mari (Rozyłowicz și al. 2011). În ciuda acestor aspecte, potențialul natural al ecoregiunii Munților Carpați este constant amenințat de degradarea continuă la care sunt supuse ariile protejate, materializată prin prisma defrișării extinse a pădurilor seculare cât și de către extinderea necontrolată a infrastructurii turistice, care au generat diminuarea constantă a patrimoniului natural, cu precădere, în perioada post-socialistă (Knorn și al. 2012).

În contextul înființării în 2007 a rețelei de situri Natura 2000 ce vizează conservarea habitatelor între care și cele ale carnivorelor mari și a atenției tot mai frecvent acordate la nivel european identificării și protejării pădurilor străvechi montane, se impun cercetări cu privire la fragmentare și conectivitate peisajelor forestiere din cadrul ecoregiunii Munților Carpați (Niculae și al. 2017). Cu toate acestea, în literatura științifică nu au fost identificate lucrări de sinteză cu privire la studiile destinate evaluării cantitative a fragmentării sau conectivității peisajelor montane carpatice. Pe baza acestor considerente, articolul de față a avut drept scop alcătuirea unei analize de tip recenzie a studiilor la nivel național și internațional legate de fragmentarea și conectivitatea peisajelor din Munții Carpați, din punct de vedere a caracte-

risticilor publicațiilor, elementelor și siturilor studiate, respectiv al metodelor aplicate pentru cuantificarea fragmentării și conectivității. Primul obiectiv a fost reprezentat de evaluarea cantitativă a studiilor în funcție de caracteristicile publicațiilor în care acestea au apărut, iar al doilea obiectiv a vizat analiza cantitativă a materialelor din punct de vedere al elementelor studiate (habitate pentru diverse specii de animale sau clase de utilizare a terenurilor) și al metodelor matematice aplicate, respectiv al anului în care au fost publicate studiile și al zonelor de studiu investigate în materiale.

Material și metodă

Pentru realizarea studiului de față, a fost necesară colectarea articolelor științifice în care a fost evaluată conectivitatea și fragmentarea peisajelor din cuprinsul ecoregiunii Munților Carpați. În acest sens a fost utilizată baza de date științifice internaționale ISI Web of Science, iar în cadrul acesteia au fost realizate interogări folosindu-se următoarele cuvinte cheie: „Munții Carpați” („*Carpathian Mountains*”), „fragmentare” („*fragmentation*”) și „conectivitate” („*connectivity*”). Conex, pentru sporirea eficienței procesului de identificare al articolelor legate de fragmentarea și conectivitatea peisajelor din Munții Carpați, au fost realizate interogări suplimentare prin intermediul unor termeni care apar în relație cu fragmentarea și conectivitatea, precum „grad de izolare spațială” („*degree of spatial isolation*”) sau „discontinuitatea habitatului” („*habitat discontinuity*”). Au fost selectate numai articole în care a fost aplicată în mod concret cel puțin o metodă cantitativă de evaluare a conectivității sau fragmentării spațiale. Au fost excluse din cercetarea de față articolele în care s-a făcut referire în mod indirect la conectivitatea sau fragmentarea spațială a peisajelor, dar și lucrările în care cele două procese au fost tratate din punct de vedere conceptual sau teoretic. A fost preferată baza de date ISI Web of Science datorită caracterului

său complex, acesta integrând și o serie de alte baze de date internaționale, între care Science Direct și Springer. În plus, în cadrul acestora se regăsesc, exclusiv, publicații științifice cotate ISI, care sunt caracterizate de o vizibilitate științifică ridicată.

În baza informației colectate a fost asamblată o bază de date proprii, în care au fost introduse articolele selectate prin intermediul ISI Web of Science. Pentru fiecare articol în parte, au fost extrase informații precum titlul articolului, sursă articolului, autorii, anul publicării articolului, tipul publicației, quartila științifică ISI în care este încadrată publicația, procesul analizat în articol, siturile evaluate, subiectul studiat și metodele aplicate. Anii publicării articolelor au fost încadrați într-o serie de intervale egale, precum 2000-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2020, la care a fost adăugat, separat, anul 2021. Tipurile publicațiilor au fost împărțite în 3 categorii: articole ce reprezintă capitole de carte, articole prezentate la conferințe (*proceedings*) și articole publicate în reviste științifice. Quartila științifică ISI în care au fost încadrate publicațiile aferente articolele selectate (Q1, Q2, Q3 sau Q4) (Research and Initiative Center 2017) a avut scopul de a reprezenta o măsură a gradului de notorietate științifică al publicațiilor. Articolele au fost clasificate și în funcție de procesele la care s-a făcut referire, precum conectivitate, fragmentare, respectiv ambele procese. Siturile evaluate cuprind statele de la nivelul ecoregiunii Munților Carpați în care au fost localizate zonele de studiu din articole, precum Polonia, Slovacia, Ucraina, Ungaria, România și Serbia. În cazul în care zona de studiu dintr-un articol a cuprins mai multe zone localizate la nivelul tuturor țărilor carpatice, atunci situl evaluat în articol a fost clasificat ca făcând referire la alte state carpatice. Subiectul studiat a vizat elementul analizat prin prisma conectivității sau fragmentării peisajelor și a cuprins atât habitate pentru diferite grupe de animale (mamifere, păsări, amfibieni, reptile și nevertebrate), cât și tipuri de clase de utilizare a terenurilor, pre-

cum păduri și tufărișuri, pășuni și terenuri arabile, respectiv infrastructuri verzi. Categoriile selectate au fost bazate pe sistemul de clasificare Corine Land Cover de ordin 1, realizat de Agenția Europeană de Mediu (European Environmental Agency 2011). În cazul în care elementul studiat a fost reprezentat de către un peisaj care a cuprins mai multe clase de utilizare a terenului, acesta a fost clasificat drept un peisaj complex. Metodele aplicate s-au referit la tehnicile care au fost utilizate în mod frecvent în studiile selectate, precum cost minim (*least cost*), teoria grafurilor (*graph theory*) și metricile peisagistice (*landscape metrics*) în cazul conectivității, respectiv metricile peisagistice, analiza fractală și index-ul de disturbanta al pădurilor (*forest disturbance index*) pentru fragmentare. Metodele care au fost utilizate în mod sporadic au fost clasificate în categoria „alte metode folosite”.

Ultimul pas al studiului a fost reprezentat de sistematizarea informațiilor culese în baza de date și realizarea a două tipuri de grafice. Primul tip de grafice a fost destinat reprezentării numărului studiilor destinate evaluării conectivității, fragmentării cât și a ambelor procese, în funcție de: a) tipurile de surse în care s-au regăsit articolele, b) gradul de notorietate științifică al publicațiilor și c) reviste științifice în care au fost publicate materialele. Al doilea tip de grafice a urmărit reprezentarea numărului de studii destinate evaluării a) conectivității sau b) fragmentării, în funcție de: a) elementele și siturile analizate, b) elementele și perioada publicării articolelor, c) metodele și siturile analizate și d) metodele și perioada publicării articolelor.

Rezultate

În total, au fost identificate 70 de studii destinate evaluării conectivității și fragmentării spațiale la nivelul ecoregiunii Munților Carpați. În cadrul acestora, fragmentarea a fost analizată exclusiv în 38 de studii, conectivitatea în 27,

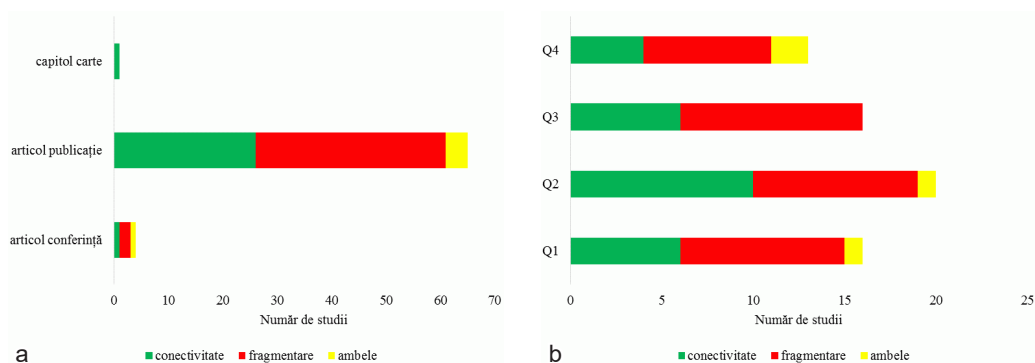


Figura 1 Numărul studiilor destinate investigării conectivității sau fragmentării spațiale din punct de vedere al a) - tipurilor de surse și b) - gradului de notorietate științifică al publicațiilor
Number of studies intended to investigate connectivity or spatial fragmentation in terms of a) – types of sources, and b) - scientific notoriety of publications

iar ambele fenomene au fost investigate în doar 5 studii. Cel mai mare număr de studii s-au regăsit în jurnale științifice (65), urmat de conferințe (4 studii) și doar un singur material a făcut subiectul unui capitol carte, acesta din urmă fiind destinat analizei conectivității. Între studiile publicate în reviste științifice, 35 au analizat fragmentarea, 26 au fost axate pe conectivitate, iar 4 au avut ca subiect ambele procese. În rândul articolelor prezentate la conferințe, două dintre acestea au vizat fragmentarea, pe când conectivitatea, respectiv ambele fenomene, au fost evaluate în câte un singur material (Figura 1a).

Analizând numărul de articole publicate în reviste în funcție de gradul de notorietate științifică, cele mai multe dintre acestea (36) au fost identificate în publicații cotate Q1-Q2. Astfel, 16 articole au fost publicate în reviste încadrate în Q1, pe când 20 au făcut obiectul unor publicații cotate Q2. De asemenea, tot 20 de articole au fost identificate în jurnale cotate în Q3. La polul opus, numai 13 materiale au fost publicate în reviste cotate Q4. Corelând fenomenele analizate în articole cu notorietatea științifică a publicațiilor, conectivitatea a reprezentat, preponderent, subiectul unor studii (în număr de 16) publicate în reviste cotate Q1-Q2. Doar 10 studii în care a fost evaluată conectivitatea s-au regăsit în reviste cotate Q3-Q4. Articolele axate pe studiul fragmentării au avut o distribuție

mai uniformă, 18 dintre acestea fiind încadrate în Q1-Q2, respectiv 17 în Q3-Q4. Dintre articolele în care au fost analizate ambele fenomene, două s-au regăsit în publicații cotate Q4, respectiv câte unul în reviste încadrate în Q1 și Q2 (Figura 1b).

Au fost identificate 38 de reviste științifice în care au fost publicate articole pe tema conectivității sau fragmentării peisajelor carpatice. Revistele cu cel mai mare număr de articole publicate (5) au fost Landscape Ecology, Forests și Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences/ CJEES, urmate de Scientific Reports și Biological Conservation (4 articole), respectiv Sustainability (3 materiale), Remote Sensing, Land, European Journal of Forest Research, Environmental Monitoring and Assessment, Biodiversity and Conservation și Acta Theriologica (fiecare cu câte două articole). Restul publicațiilor au înregistrat câte un singur articol cu privire la conectivitatea sau fragmentarea spațială din ecoregiunea Munților Carpați. Cel mai mare număr de studii axate pe fragmentare s-a regăsit în revista Forest (5), urmată de CJEES (4 articole), Sustainability (3 materiale), respectiv Environmental Monitoring and Assessment, Biological Conservation și Biodiversity and Conservation (fiecare cu câte două studii). Conectivitatea a fost evaluată, mai ales, în studii publicate în Landscape Ecology (4),

Scientific Reports (3 articole), Biological Conservation și Acta Theriologica (câte două materiale), pe când ambele fenomene au reprezentat, cu precădere, obiectul a câte unui singur articol din Remote Sensing, Polish Journal of Ecology, Ecological Indicators și Acta Societatis Botanicorum Poloniae (Figura 2).

Pe ansamblu, evaluând relația dintre ponderea suprafeței lanțului Carpatic și numărul studiilor legate de conectivitatea/ fragmentarea spațială la nivel de țară, s-a remarcat faptul că statele care dețin o pondere mai mare a lanțului muntos, prezintă în același timp și un număr mai mare de materiale destinate evaluării co-

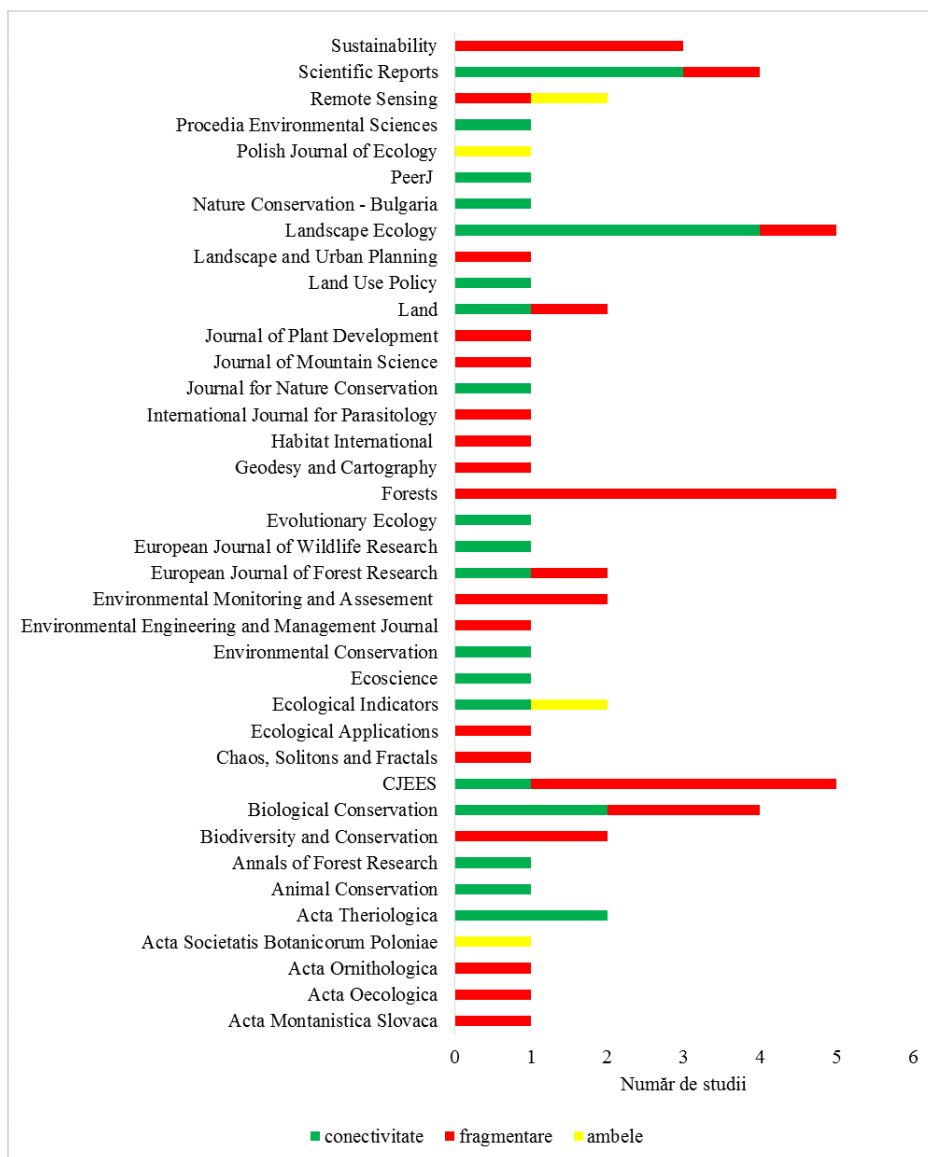


Figura 2 Numărul studiilor destinate investigării conectivității sau fragmentării spațiale din punct de vedere al jurnalelor științifice în care au fost publicate
Number of studies intended to investigate connectivity or spatial fragmentation in terms of the scientific journals in which they have been published

nectivității/ fragmentării peisajelor carpatice. Astfel, cel mai mare număr de studii (38) a fost identificat la nivelul României (50% din suprafața totală a lanțului carpatic), urmat de 14 materiale în cadrul Poloniei (10%), 12 studii la nivelul Slovaciei (17%) și 3 materiale în cadrul Ucrainei (10%).

Analizând articolele destinate evaluării conectivității în funcție de elementele studiate, cele mai multe dintre acestea (12) au vizat habitatele mamiferelor (Fedorca și al. 2020, Fedorca și al. 2021), urmate de suprafețele forestiere și tufărișuri (9 articole) (Niculae și al. 2016, Niculae și al. 2017), respectiv habitatele păsărilor (Jordan și al. 2019, Klinga și al. 2017), habitatele amfibienilor, reptilelor sau nevertebratelor (Hartel și al. 2010, Săhlean și al. 2020) și pășuni sau terenuri arabile (Cojoc și al. 2016, Pătru-Stupariu și al. 2017) (fiecare cu câte 4 materiale). Peisajele complexe (Ziolowska și al. 2014), respectiv infrastructurile verzi (Niță și al. 2018) au fost analizate în câte două articole. Conectivitatea habitatelor mamiferelor a fost studiată, cu precădere, la nivelul României și Poloniei (fiecare cu câte 4 articole), urmate de Slovacia (2 materiale). Același subiect a fost analizat în alte două materiale, care au avut drept zonă de studiu întreaga regiune carpatică. În mod similar,

conectivitatea pădurilor și tufărișurilor a fost evaluată pentru România și Slovacia (câte 3 studii), la care se adaugă Polonia, Ucraina și întreaga regiune carpatică (câte un material). Conectivitatea habitatelor păsărilor a fost studiată în Slovacia, respectiv la nivelul tuturor statelor carpatice în câte două studii, pe când conectivitatea habitatelor amfibienilor, reptilelor și nevertebratelor a vizat, mai ales, România și Slovacia. Pășunile și terenurile arabile au fost studiate în Polonia și România, pe când infrastructurile verzi doar la nivelul României. Peisajele complexe au fost analizate în cadrul unui singur studiu care a vizat întregul areal carpatic (Figura 3a). Studiilor care au vizat analiza conectivității habitatelor mamiferelor au înregistrat un trend ascendent în perioada 2006-2020 (de la câte 3 materiale în intervalele 2006-2010, respectiv 2011-2015, la 7 publicații între 2016 și 2020). Un trend similar a caracterizat și studiile în care a fost evaluată conectivitatea suprafețelor de pădure (Figura 3b).

Principalele metode utilizate în studiile de evaluare a conectivității peisajelor carpatice cuprind costul minim (15 articole) (Huck și al. 2010, Huck și al. 2011), teoria grafurilor (Ziółkowska și al. 2021) și metricile peisagistice (fiecare în câte 8 materiale) (Kanuch și al.

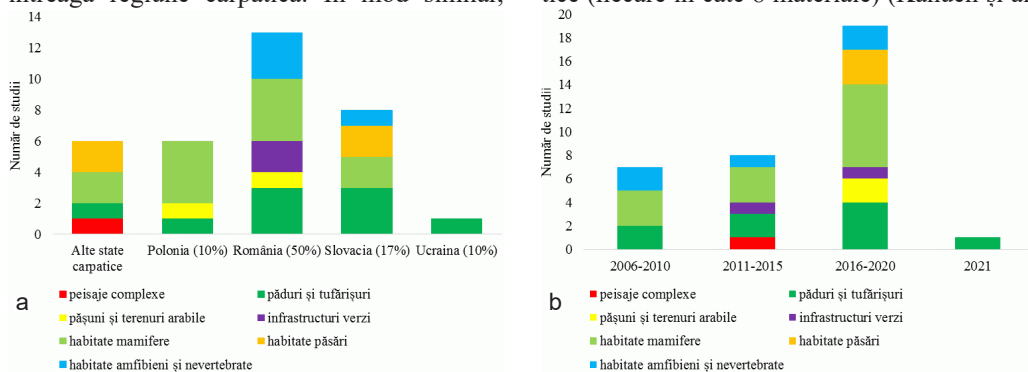


Figura 3 Numărul studiilor destinate investigării conectivității spațiale din punct de vedere al a) - elementelor analizate și al țărilor în care se află siturile studiate și b) - elementelor analizate și al perioadei publicațiilor. Pentru fiecare stat, a fost trecută în paranteză ponderea suprafeței deținute la nivelul Munților Carpați.

Number of studies intended to investigate spatial connectivity or spatial fragmentation in terms of a) - elements analyzed and location of the sites studied, and b) - elements analyzed and the period of publications. For each state, the share of the area held in the Carpathian Mountains was specified between brackets.

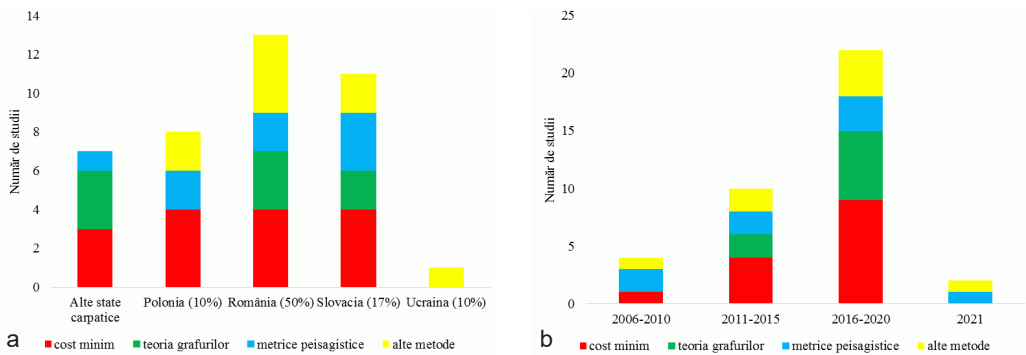


Figura 4 Numărul studiilor destinate investigării conectivității spațiale din punct de vedere al a) - metodelor utilizate și al țărilor în care se află siturile studiate și b) – metodelor utilizate și al perioadei publicațiilor. Pentru fiecare stat, a fost trecută în paranteză ponderea suprafeței deținute la nivelul Munților Carpați. *Number of studies intended to investigate spatial connectivity in terms of a) - methods used and location of sites studied, and b) - methods used and period of publications. For each state, the share of the area held in the Carpathian Mountains was specified between brackets.*

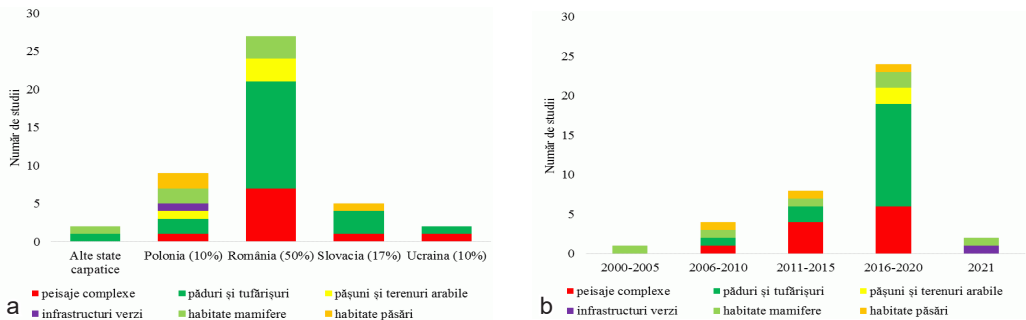


Figura 5 Numărul studiilor destinate investigării fragmentării spațiale din punct de vedere al a) - elementelor analizate și al țărilor în care se află siturile studiate și b) - elementelor analizate și al perioadei publicațiilor. Pentru fiecare stat, a fost trecută în paranteză ponderea suprafeței deținute la nivelul Munților Carpați. *Number of studies intended to investigate spatial fragmentation in terms of a) - elements analyzed and location of the sites studied, and b) - elements analyzed and the period of publications. For each state, the share of the area held in the Carpathian Mountains was specified between brackets.*

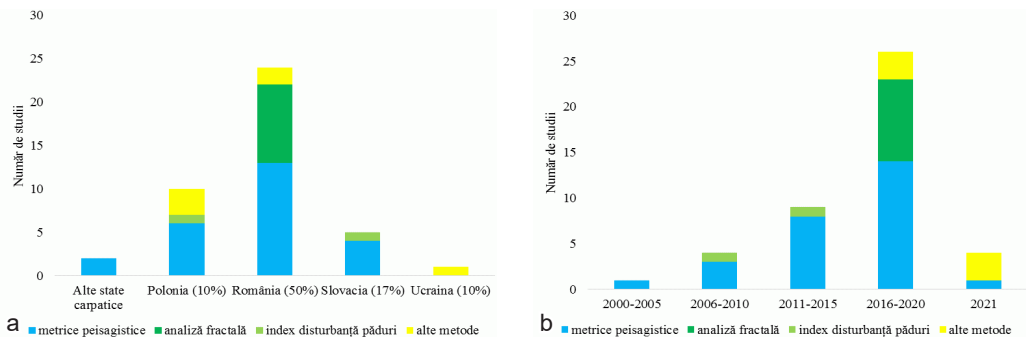


Figura 6 Numărul studiilor destinate investigării fragmentării spațiale din punct de vedere al a) - elementelor analizate și al țărilor în care se află siturile studiate și b) - elementelor analizate și al perioadei publicațiilor. Pentru fiecare stat, a fost trecută în paranteză ponderea suprafeței deținute la nivelul Munților Carpați. *Number of studies intended to investigate spatial fragmentation in terms of a) - elements analyzed and location of the sites studied, and b) - elements analyzed and the period of publications. For each state, the share of the area held in the Carpathian Mountains was specified between brackets.*

2012). Meroda cost minim a fost aplicată în câte 4 studii la nivelul României, Poloniei și Slovaciei, respectiv în 3 studii în care arealul de studiu a fost reprezentat de întreaga ecoregiune carpatică. Teoria grafurilor a fost utilizată, cu precădere, pentru areale din România (3 studii), respectiv pentru statele carpatice pe ansamblu (3 studii) și Slovacia (două materiale), pe când metricile peisagistice (precum dimensiunea media a parcelelor - „*mean patch size*” sau lungimea totală a marginilor - „*total edge*”) au fost aplicate, mai ales, la nivelul Slovaciei (3 studii), respectiv al Poloniei și României (fiecare cu câte două studii) (Figura 4a). Din punct de vedere al perioadei publicațiilor, pentru fiecare dintre cele 3 metode frecvent utilizate, numărul de studii a înregistrat o tendință ascendentă în perioada 2005-2020, culminând în 2020 cu 9 studii în cazul costului minim, 6 materiale în cazul teoriei grafurilor și 3 articole pentru metricile peisagistice (Figura 4b).

Articolele în care au fost aplicate metode de cuantificare a fragmentării spațiale au avut ca subiect, în special, păduri și tufărișuri (21) (Andronache și al. 2019, Ciobotaru et al. 2019), urmate de peisaje complexe (10) (Nicu și Stoleriu 2019, Pătru-Stupariu și al. 2015), habitate pentru mamifere (6) (Niedziałkowska și al. 2005, Rozyłowicz și al. 2011), pășuni și terenuri arabile (4) (Henryk Szymura și Szymura 2019, Săvulescu și al. 2019), habitate pentru păsări (3) (Bylicka et al. 2010, Lacko și al. 2018) și infrastructuri verzi (un singur studiu) (Blazy și al. 2021). România a reprezentat țara în care au fost identificate cele mai multe studii destinate evaluării fragmentării suprafețelor de pădure (14), peisajelor complexe (7), pășunilor și habitatelor pentru mamifere (câte 3 articole). Fragmentarea infrastructurilor verzi și a pășunilor a fost evaluată la nivelul Poloniei (Figura 5a). Numărul de studii în care a fost evaluată fragmentarea pădurilor, a peisajelor complexe și a habitatelor mamiferelor a crescut în perioada 2006-2020, pe când numărul articolelor axate pe investigarea fragmentării habitatelor pentru păsări s-a menținut constant (câte un studiu în intervalele 2006-2010, 2011-2015 și 2016-2020) (Figura 5b).

Cea mai frecvent folosită metodă în analiza fragmentării peisajelor carpatice a fost reprezentată de metricile peisagistice (27 de articole) (Pătru-Stupariu și al. 2015, Pătru-Stupariu și al. 2017), urmată la mare distanță de analiza fractală (9 studii) (Andronache și al. 2019, Ciobotaru et al. 2019) și index-ul de disturbabilitate al pădurilor (2 materiale) (Kuemmerle și al. 2017). Metricile peisagistice (precum „*effective mesh size*” sau „*core area*”) au fost aplicate, preponderent, la nivelul României (13 studii), Poloniei (6 articole) și Slovaciei (4 materiale) (Figura 6a), respectiv au înregistrat o creștere constantă a numărului de lucrări în care au fost publicate în perioada 2000-2020. La polul opus, analiza fractală a fost aplicată, exclusiv, la nivelul României, în intervalul 2016-2020. Index-ul de disturbabilitate al pădurilor a fost utilizat pentru areale din Polonia și Slovacia în perioada 2006-2015 (Figura 6b).

Discuții

Conectivitatea/fragmentarea habitatelor mamiferelor

Analiza caracteristicilor studiilor cu privire la conectivitatea sau fragmentarea peisajelor carpatice a conturat existența unor subiecte de cercetare frecvent abordate. În acest sens, au fost identificate o serie de articole destinate investigării efectelor generate de extinderea infrastructurilor de transport asupra conectivității habitatelor mamiferelor carnivore de talie mare, precum ursul brun (*Ursus arctos*), lupul cenușiu (*Canis lupus*) și râsul (*Lynx lynx*) (Fedorca și al. 2019, Fedorca și al. 2020), respectiv pentru prăzile acestora, între care cerbul comun (*Cervus elaphus*), porcul mistreț (*Sus scrofa*) și căpriorul (*Capreolus capreolus*) (Fedorca și al. 2019, Fedorca și al. 2020), de la nivelul Carpaților din cuprinsul României, cu ajutorul metodelor cost minim și cel mai eficient model multivariat (*best multivariate model*). În mod similar, în cadrul Carpaților Curburii din România, Fedorca și al. (2021) a

analizat efectele fragmentării generate de artele rutiere asupra deplasării mamiferelor de talie mare, prin intermediul metodei estimării densității nucleului (*Kernel density estimate*). La nivelul Carpaților Orientali din România, fragmentarea habitatelor pentru carnivore mari a fost studiată și de către Rozyłowicz și al. (2011), care a urmărit modelarea potențialului ursului brun, lupului și râsului de a reprezenta specii umbrelă, de pe urma protecției cărora pot beneficia și alte elemente faunistice. Conex, conectivitatea habitatelor ursului brun a reprezentat o variabilă de mediu utilizată pentru identificarea arealelor prioritare în vederea conservării speciei de către Pop și al. (2018).

Evaluarea conectivității a fost folosită și în contextul modelării favorabilității habitatelor carnivorelor mari din România (Cristescu și al. 2019). Conectivitatea habitatelor pentru urs brun și lup a fost modelată pe baza metodei costului minim, în cadrul Munților Carpați din Polonia (Huck și al. 2010, Huck și al. 2011). Tot la nivelul Poloniei, cu ajutorul metricilor peisagistice (precum „*euclidean nearest neighbor distance*” sau „*class area proportion*”), a fost determinată fragmentarea habitatelor pentru râs (Niedziałkowska și al. 2005). În Slovacia, prin intermediul costului minim, a fost identificată existența unei corelații între reducerea conectivității habitatelor speciei și apariția blocajului demografic (Kubala și al. 2020). De asemenea, efectele modificărilor în tipurile de acoperire a terenurilor asupra conectivității habitatelor carnivorelor mari au fost studiate în Polonia (Kaim și al. 2019), iar implicațiile modelelor de habitat/deplasare în eficiența cartării conectivității pentru ursul brun au fost explorate la nivelul Slovaciei și Poloniei (Ziołkowska și al. 2016). La nivelul întregului areal carpatic, metoda cost minim a fost utilizată și pentru evaluarea îndeplinirii obiectivelor de asigurare a conectivității carnivorelor, conform proiectului BioREGIO Carpathians (Favilli și al. 2015).

Prin intermediul metricilor peisagistice, au fost analizate efectele fragmentării habitatelor asupra distribuției unor specii de paraziți

(*Eucoleus aerophilus* și *Crenosoma vulpis*) la exemplare de vulpe roșie (*Vulpes vulpes*) în România (Deak și al. 2020). Astfel, au fost identificate o serie de publicații care au avut drept scop evaluarea fragmentării habitatelor cu ajutorul metricilor peisagistice (precum „*core area*” sau „*total edge*”) (Kuemmerle și al. 2010, Kuemmerle și al. 2018), respectiv a conectivității pe baza costului minim și teoriei grafurilor (Ziołkowska și al. 2021) pentru zimbri (*Bison bonasus*) (Figura 7a).

Conectivitatea/fragmentarea habitatelor păsărilor

În rândul păsărilor, cocoșul de munte a reprezentat subiectul unor studii care au urmărit evaluarea impactului reducerii conectivității habitatelor asupra dispersiei fluxului genetic al speciei în Slovacia (Jordán și al. 2019, Klinga și al. 2017), respectiv efectele managementului forestier asupra conectivității habitatelor de la nivelul tuturor statelor carpatice (Mikolas și al. 2017). Principalele metode aplicate au fost cost minim și teoria grafurilor. Cuantificarea fragmentării antropice cu ajutorul metricilor peisagistice a fost folosită pentru realizarea unui diagnostic ecologic al calității habitatelor pentru huhurezul mare (*Strix uralensis*) (Bylickaet și al. 2010) și ieruncă (*Tetrastes bonasia*) în Polonia (Kajtoch și al. 2012), respectiv pentru diverse specii de păsări cântătoare în Slovacia (Lacko și al. 2018).

Conectivitatea/fragmentarea reptilelor și nevertebratelor

În cadrul ecoregiunii Munților Carpați, rezultatele au relevat că habitatele amfibienilor, reptilelor și nevertebratelor au fost evaluate, exclusiv, din perspectiva conectivității. Astfel, s-au evidențiat materiale care au vizat, pe baza metodei cost minim, modelarea coridoarelor ecologice pentru speciile de amfibieni și reptile protejate la nivelul României în siturile Natura 2000 (Săhlean și al. 2020) (Figura 7b-d), respectiv cuantificarea co-



Figura 7 Exemple de specii de mamifere de talie mare, respectiv amfibieni și reptile, ale căror habitate au reprezentat subiectul studiilor de evaluare a conectivității/ fragmentării la nivelul ecoregiunii Munților Carpați: a) - zimbriul sau bizonul european (*Bison bonasus*) (4 studii), b) - gușterul (*Lacerta viridis*), c) - salamandra comună (*Salamandra salamandra*), d) - broasca râioasă (*Bufo bufo*) și șarpele de casă (*Natrix natrix*) (fiecare a beneficiat de câte un studiu) (Sursa: Mustătea Mihai 2021).

*Examples of large mammal species, respectively amphibians and reptiles, whose habitats have been the subject of connectivity / fragmentation assessment studies in the Carpathian Mountains ecoregion: a) - visent or European bison (*Bison bonasus*) (4 studies), b - lizard (*Lacerta viridis*), c - common salamander (*Salamandra salamandra*), d - toad (*Bufo bufo*) and the house snake (*Natrix natrix*) (each one with only one study) (Source: Mustătea Mihai 2021).*

nectivității habitatelor acvatice pentru două specii de raci (*Austropotamobius torrentium* și *Austropotamobius bihariensis*), specifice Carpaților Occidentali (Pârvolescu și al. 2020). Metricile de evaluare a conectivității cursurilor de apă au fost utilizate în vederea explorării prezenței tritonului nordic cu creastă (*Triturus cristatus*) în România (Hartel și al. 2010), pe când metricile peisagistice au fost folosite pentru studierea efectelor conectivității habitatelor asupra dispersiei genetice a greierului negru (*Pholidoptera griseoptera*) în Slovacia (Kanuch și al. 2012).

Conectivitatea/fragmentarea suprafețelor de pădure

Conectivitatea pădurilor în contextul conservării habitatelor pentru specii de fungi a fost ana-

lizată de Abrego și al. (2015) cu ajutorul tehnicilor *zonation conservation planning software* la nivelul Slovaciei, pe când costul minim fost folosit pentru cartarea conectivității suprafețelor de pădure din cadrul Carpaților Românești, în vederea identificării implicațiilor acestui fenomen pentru politicile forestiere și de management silvic (Stăncioiu și al. 2018). Teoria grafurilor a fost aplicată într-o serie de studii destinate evaluării conectivității funcționale a suprafețelor de pădure din cadrul siturilor Natura 2000 aferente Carpaților Românești, în vederea cuantificării potențialului de asigurare a dispersiei pentru animale (Niculae și al. 2016, Niculae și al. 2017). Metoda *gap analysis* a fost utilizată de Angelstam și al. (2017) pentru investigarea conectivității pădurilor din Carpații Ucrainei și planificarea strategică a zonelor verzi.

Fragmentarea pădurilor generată de defrișări ilegale și management silvic defectuos a fost frecvent studiată prin intermediul analizei fractale, la nivelul intervalului 2016-2020, în cadrul a diferite zone din Carpații României, precum Munții Apuseni (Andronache și al. 2019), Grupa Centrală a Carpaților Orientali (Andronache et al. 2016, Ciobotaru et al. 2019), Grupa Nordică a Carpaților Orientali (Drăghici și al. 2017, Pintili și al. 2017), Grupa de Curbură a Carpaților Orientali (Ciobotaru și al. 2019) și Munții Bucegi (Diaconu și al. 2019), cât și la nivelul întregului lanț carpatic din România (Andronache și al. 2017).

În mod similar, fragmentarea forestieră ca urmare a defrișărilor ilegale a fost modelată cu ajutorul index-ului de disturbantă al pădurilor la nivelul zonelor de munte din județul Harghita, România (Vorovencii 2013), respectiv pe baza metricilor peisagistice în cadrul Parcului Natural Munții Apuseni (Vorovencii 2018). Metoda index-ului de disturbantă al pădurilor a fost aplicată și de către Kuemmerle și al. (2017) într-un studiu destinat cuantificării defrișărilor de pădure în zona montană a graniței dintre Slovacia, Polonia și Ucraina, pe când metricile peisagistice au fost folosite în vederea cartării fragmentării pădurilor determinate de defrișări în Slovacia și Bulgaria (Vatseva și al. 2016), respectiv România (Kucsicsa și Dumitrică 2019). Nu în ultimul rând, pe baza studierii fragmentării pădurilor prin intermediul metricilor peisagistice, au fost identificate suprafețe de pădure cu valoare ridicată de conservare în Munții Bucegi, România (Pătru-Stupariu și al. 2013), respectiv a fost analizat efectul fragmentării asupra diversității speciilor de ciuperci în Carpații Orientali (Copoț și Tănase 2019).

Studiile care au vizat evaluarea atât a conectivității, cât și a fragmentării suprafețelor de pădure (Figura 8a), au avut drept areale de studiu Polonia (Ostapowicz și al. 2016), respectiv toate statele carpatice (Jabs-Sobocinska și al. 2021) și au implicat utilizarea metricilor peisagistice (precum „*largest patch index*”). În mod similar, Demkova și Mida (2014) au folosit metricile peisagistice pentru cuantificarea ambelor

procese și identificarea arealelor ocupate cu tu-fărișuri din Carpații Albi (Slovacia de Vest).

Conectivitatea/fragmentarea peisajelor complexe

În cadrul ecoregiunii Munților Carpați, peisajele complexe (Figura 8b) au fost studiate, preponderent, din perspectiva fragmentării spațiilor. Cu toate acestea, a fost identificat un singur material care a urmărit studierea efectelor modelelor de conectivitate asupra evaluării rețelelor de habitate aferente peisajelor montane complexe din Polonia, Slovacia și România (Ziolowska și al. 2014). La polul opus, Gavrilenco și al. (2018) a cercetat fragmentarea peisajelor montane din Ucraina determinată de infrastructura de transport cu ajutorul metodei generării de zone tampon (buffer).

Metricile peisagistice au fost frecvent utilizate la nivel României, atât pentru cuantificarea fragmentării în cadrul zonelor tampon din jurul monumentelor istorice UNESCO din nordul Carpaților Orientali (Nicu și Stoleriu 2019), cât și pentru evidențierea fragmentării induse de infrastructurile de transport asupra peisajului montan din Carpații Meridionali (Pătru-Stupariu și al. 2015) și zona peri-urbană a Municipiului Cluj Napoca (Corpade și al. 2014). De asemenea, metricile peisagistice au reprezentat un instrument util pentru identificarea efectelor fragmentării asupra peisajelor complexe din siturile Natura 2000 aferente Carpaților Românești (Ursu și al. 2020), cât și asupra celor din Parcul Național Piatra Craiului (Vezeanu și al. 2017, Vorovencii 2015) și Parcul Național Cheile Nerei-Beușnița (Ianăș și Germain 2018). Fragmentarea peisajelor montane a mai fost analizată la nivelul unor situri din Slovacia (Klaučo et al. 2012) și Polonia (Janus et al. 2017).

Conectivitatea/fragmentarea pășunilor, terenurilor arabile și infrastructurilor verzi

Metricile peisagistice au fost frecvent folosite pentru analizarea conectivității/ fragmentării pășunilor montane și terenurilor arabile din



Figura 8 Exemple de tipuri de peisaje care au constituit subiectul studiilor de evaluare a fragmentării și conectivității spațiale la nivelul ecoregiunii Munților Carpați: a) - peisaje forestiere și tufărișuri (25 studii), b) - peisaje complexe (11 studii), c) - pășuni și terenuri arabile (3 studii) și d) - zone urbane verzi (3 studii) (Sursa: Mustățea Mihai 2014)

Examples of types of landscapes that have been the subject of studies to assess the fragmentation and spatial connectivity of the Carpathian Mountains ecoregion: a) - forest landscapes and shrubs (25 studies), b) - complex landscapes (11 studies), c) - pastures and arable land (3 studies) and d) - green urban areas (3 studies) (Source: Mustățea Mihai 2014)

România (Cojoc și al. 2016, Pătru-Stupariu și al. 2017, Săvulescu și al. 2019) și Polonia (Henryk Szymura și Szymura 2019) (Figura 8c-d). Conectivitatea/ fragmentarea infrastructurilor verzi a fost evaluată prin intermediul metricilor peisagistice (Niță și al. 2018), metodei generării zonelor tampon (Badiu și al. 2014) și calcularea coeficientului de fragmentare al infrastructurilor verzi (*green infrastructure fragmentation coefficient*) (Blazy și al. 2021).

Concluzii

Potrivit bazei de date științifice internaționale Web of Science, la nivelul ecoregiunii Munților Carpați, studiile destinate evaluării conectivității sau fragmentării peisajelor au fost publicate, exclusiv, în perioada 2000-2021, cu accent pe intervalul 2016-2020. Conectivitatea peisajelor a fost studiată, mai ales, la nivelul unor zone

din România și Slovacia, pe când fragmentarea a fost evaluată, preponderent, în cadrul unor situri din România și Polonia. Studiile au fost publicate, cu precădere, în jurnale științifice, iar cea mai mare parte dintre acestea s-au regăsit în publicații cu un impact științific semnificativ, precum Scientific Reports, Biological Conservation, Landscape Ecology sau Forests.

Conectivitatea peisajelor a fost analizată, în special, prin intermediul metodelor cost minim și teoria grafurilor, în contextul studierii efectelor infrastructurilor de transport asupra habitatelor mamiferelor de talie mare care sunt protejate la nivelul Europei (cu precădere, mamifere carnivore, precum ursul brun, lupul și râsul) și a identificării unor areale în care regăsesc habitate optime pentru aceste specii. Pe lângă habitatele mamiferelor, alte elemente care au făcut obiectul unor studii sporadice de evaluare a conectivității au fost habitatele unor specii de păsări, amfibieni, reptile și nevertebrate,

majoritatea dintre acestea fiind specii de interes comunitar, caracterizate de o valoare de conservare ridicată. Fragmentarea peisajelor a fost cuantificată, mai ales, cu ajutorul metricilor peisagistice și al analizei fractale (aplicată exclusiv la nivelul unor areale din România). Articolele au urmărit studierea presiunii antropice, ca urmare a defrișărilor ilegale, managementului forestier și schimbărilor în utilizarea terenurilor, de la nivelul suprafețelor forestiere sau al peisajelor montane complexe, incluse în parcuri naturale sau naționale și situri Natura 2000.

Utilitatea rezultatelor constă în furnizarea unei imagini complete, detaliate, a unora dintre cele mai importante direcții de cercetare subsumate domeniului ecologiei peisajelor, precum studiul conectivității și fragmentării peisajelor montane ca urmare a presiunii antropice, cu aplicabilitate la nivelul Munților Carpați, unul dintre cele mai semnificative masive montane de pe continentul european din punct de vedere al biodiversității ecologice. Rezultatele prezintă importanță atât prin prisma componentei informative, furnizând un tablou atotcuprinzător al problemelor sensibile de mediu cu care se confruntă arealele cu biodiversitate bogată localizate în zone puternic antropizate, cât și prin intermediul componentei practice, prezentând cele mai comune metode științifice destinate identificării, studierii și soluționării disfuncționalităților ecologice din cadrul peisajelor montane cu valoare ridicată de conservare ale Europei.

Mulțumiri

Pentru realizarea articolului de față doresc să mulțumesc Prof. Univ. Dr. Ileana Stupariu, căreia îi sunt profund recunoscător pentru sprijinul constant acordat în vederea dezvoltării carierei mele științifice. Școala Doctorală „Simion Mehedinți” din cadrul Facultății de Geografie, Universitatea București, a furnizat suport financiar pentru realizarea studiului de față.

Bibliografie

- Abrego N., Bässler C., Christensen M., Heilmann-Clausen J., 2015. Implications of reserve size and forest connectivity for the conservation of wood-inhabiting fungi in Europe. *Biological Conservation* 191(2): 469-477. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.07.005>
- Andrén H., 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review. *Oikos* 76(3): 355-366. <https://doi.org/10.2307/3545823>
- Andronache I. C., Ahammer H., Jelinek H. F., Peptenatua D., Ciobotaru A. M., Drăghici C. C., Pintilii R. D., Simion A. G., Teodorescu C., 2016. Fractal analysis for studying the evolution of forests. *Chaos, Solitons and Fractals* 91: 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2016.06.013>
- Andronache I., Fensholt R., Ahammer H., Ciobotaru A. M., Pintili R. D., Peptenatu D., Drăghici C. C., Diaconu D. C., Radulovic M., Pulighe G., Aziho A. F., Toyi M. S., Sinsin B., 2017. Assessment of Textural Differentiations in Forest Resurces in Romania Using Fractal Analysis. *Forests* 8: 54. DOI: 10.3390/f8030054
- Andronache I., Marin M., Fischer R., Ahammer H., Radulovic M., Ciobotaru A. M., Jelinek H. F., Di Ieva A., Pintilii R. D., Drăghici C. C., Herman G. V., Nicula A. S., Simion A. G., Loghin I. V., Diaconu D.C., Peptenatu D., 2019. Dynamics of Forest Fragmentation and Connectivity Using Particle and Fractal Analysis. *Scientific Reports* 9(1): 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48277-z>
- Angelstam P., Yamelnyets T., Elbakidze M., Prots B., Manton M., 2017. Gap Analysis as a Basis for Strategic Spatial Planning of Green Infrastructure: A Case Study in the Ukrainian Carpathians. *Ecoscience* 24(1-2): 41-58. <https://doi.org/10.1080/11956860.2017.1359771>
- Badiu D-L., Chincea I., Ioja I. C., Niculae M. I., Niță M. R., Pătroescu M., Vânău G., 2014. The diversity of urban green infrastructures in a former industrial city in Romania. Case study – Reșița. 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014, SGEM2014 Conference Proceedings, June 19-25. Albena, 5(2): 703-710 pp. <https://doi.org/10.5593/SGEM2014/B52/S20.093>
- Biriș I. A., Veen P., 2005. Inventory and strategy for sustainable management and protection of virgin forests in Romania. Extended English summary. ICAS and KNNV, Bucharest, 61 p.
- Blazy R., Hrehorowicz-Gaber H., Hrehorowicz-Nowak A., 2021. Green Infrastructure-Countering Ecosystem Fragmentation: Case Study of a Municipality in the Carpathian Foothills. *Forests* 12(1):78. <https://doi.org/10.3390/f12010078>
- Bylicka M., Kajtoch L., Figarski T., 2010. Habitat and Landscape Characteristics Affecting the Occurrence of Ural Owls *Strix uralensis* in an Agroforestry

- Mosaic. *Acta Ornithologica* 45: 33-42. <https://doi.org/10.3161/000164510X516065>
- Ciobotaru A. M., Andronache I., Ahammer H., Jelinek H. F., Radulovic M., Pintilii R. D., Peptenatu D., Drăghici C. C., Simion A. D., Papuc R. M., Marin M., Radu R. A., Grecu A., Gruia A. K., Loghin I. V., Fensholt R., 2019. Recent Deforestation Pattern Changes (2000–2017) in the Central Carpathians: A Gray-Level Co-Occurrence Matrix and Fractal Analysis Approach. *Forests* 10(4): 308. <https://doi.org/10.3390/f10040308>
- Ciobotaru A. M., Andronache I., Ahammer H., Radulovic M., Peptenatu D., Pintilii R. D., Drăghici C. C., Marin M., Carboni C., Mariotti G., Fensholt R., 2019. Application of Fractal and gray-level co-occurrence matrix indices to assess the forest dynamics in the curvature Carpathians-Romania. *Sustainability* 11(24): 6927. <https://doi.org/10.3390/su11246927>
- Cojoc E. I., Postolache C., Olariu B., Beierkuhnlein C., 2016. Effects of anthropogenic fragmentation on primary productivity and soil carbon storage in temperate mountain grasslands. *Environmental Monitoring & Assessment* 188(11): 653. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5667-7>
- Copoș O., Tănase C., 2019. Dead wood, forest fragmentation and elevation influences macrofungal diversity on downed coarse woody debris in beech and oak old forest ecosystems from northeastern Romania. *Journal of Plant Development* 26: 161-172. <https://doi.org/10.33628/jpd.2019.26.1.161>
- Corpade C., Man T., Petrea D., Corpade A. M., Moldovan C., 2014. Changes in landscape structure induced by transportation projects in Cluj-Napoca periurban area using GIS. *Carpathian Journal of Earth and environmental sciences* 9(4): 177-184.
- Cristescu B., Domokos C., Teichman K. J., Nielsen S. E., 2019. Large carnivore habitat suitability modelling for Romania and associated predictions for protected areas. *PeerJ* 7:e6549. <https://doi.org/10.7717/peerj.6549>
- Deak G., Gherman C. M., Ionică A. M., Péter Á., Sándor D. A., Mihalca A. Daniel., 2020. Biotic and abiotic factors influencing the prevalence, intensity and distribution of *Eucoleus aerophilus* and *Crenosoma vulpis* in red foxes, *Vulpes vulpes* from Romania. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2020.05.009>
- Demkova K., Mida P., 2014. Classification of the non-forest woody vegetation and its relation to habitat conditions: case study from White Carpathians (Western Slovakia). *Polish Journal of Ecology* 62(3):401-412. <https://doi.org/10.3161/104.062.0302>
- Diaconu D. C., Andronache I., Pintilii R. D., Brețcan P., Simion A. G., Drăghici C. C., Gruia K. A., Grecu A., Marin M., Peptenatu D., 2019. Using fractal fragmentation and compaction index in analysis of the deforestation process in Bucegi Mountains Group, Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 14(2): 431-438. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/092>
- Drăghici C. C., Andronache I., Ahammer H., Peptenatu D., Pintilii R. D., Ciobotaru A. M., Simion A. G., Do-brea R. C., Diaconu D. C., Vișan M. C., Papuc R. M., 2017. Spatial evolution of forest areas in the northern Carpathian mountains of Romania. *Acta Montanistica Slovaca* 22(2): 95-106.
- European Environmental Agency., 2011. Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN report No. 2/2011, 92 p.
- Favilli F., Hoffmann C., Elmi M., Ravazzoli E., Streifeneder T., 2015. The BioREGIO Carpathians project: Aims, methodology and results from the "Continuity and Connectivity" analysis. *Nature Conservation – Bulgaria* 11 (4): 95-111. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.11.4424>
- Fedorca A., Fedorca M., Ionescu O., Jurj R., Ionescu G., Popa M., 2021. Sustainable Landscape Planning to Mitigate Wildlife-Vehicle Collisions. *Land* 10 (7): 737. <https://doi.org/10.3390/land10070737>
- Fedorca A., Popa M., Jurj R., Ionescu G., Ionescu O., Fedorca M., 2020. Assessing the regional landscape connectivity for multispecies to coordinate on-the-ground needs for mitigating linear infrastructure impact in Brașov – Prahova region. *Journal for Nature Conservation* 58: 125903. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125903>
- Fedorca A., Russo I-R. M., Ionescu O., Ionescu G., Popa M., Fedorca M., Curțu A. L., Sofletea N., Tabor G. M., Bruford M. W., 2019. Inferring fine-scale spatial structure of the brown bear (*Ursus arctos*) population in the Carpathians prior to infrastructure development. *Scientific Reports* 9 (1): 9494. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45999-y>
- Forman R. T. T., 1995. *Land mosaics - The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, 656 p.
- Forman R. T. T., 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology* 14(1): 31–36. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99299.x>
- Gavrilenko V., Drapaliuk A., Kokhan O., Movchan I., Gulevets D., Zhurbas K., 2018. National eco-network of Ukraine in the road transport and urban factors context: Landscape and LandscapeEcology. In: Halada L., Bača A., Boltižiar, M. (ed.), *Proceedings of the 17th International Symposium on Landscape Ecology*, 27-29 May, Nitra, 297-305.
- Gervasi V., Ciucci P., 2018. Demographic projections of the Apennine brown bear population *Ursus arctos marsicanus* (Mammalia: Ursidae) under alternative management scenarios. *The European Zoological Journal* 85 (1): 242-252. <https://doi.org/10.1080/24750263.2018.1478003>
- Hanski, I. 1989. Metapopulation dynamics: does it help to have more of the same? *TREE* 4: 113–114.
- Hartel T., Nemes S., Ollerer K., Cogălniceanu D., Moga C., Arntzen J. W., 2010. Using connectivity metrics and niche modelling to explore the occurrence of the northern crested newt *Triturus cristatus* (Amphibia, Caudata)

- in a traditionally managed landscape. *Environmental Conservation* 37 (02): 195-200. <https://doi.org/10.1017/S037689291000055X>
- Huck M., Jędrzejewski W., Borowik T., Jędrzejewska B., Nowak S., Mysłajek R. W., 2011. Analyses of least cost paths for determining effects of habitat types on landscape permeability: wolves in Poland. *Acta Theriologica* 56: 91–101. <https://doi.org/10.1007/s13364-010-0006-9>
- Huck M., Jędrzejewski W., Borowik T., Milosz-Cielma M., Schmidt K., Jędrzejewska B., Nowak S., Mysłajek R. W., 2010. Habitat suitability, corridors and dispersal barriers for large carnivores in Poland. *Acta Theriologica* 55 (2): 177-192. <https://doi.org/10.4098/j.at.0001-7051.114.2009>
- Ianăș A. N., Germain D., 2018. Quantifying landscape changes and fragmentation in a National Park in the Romanian Carpathians. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1): 147-160.
- Janus J., Łopacka M., John E., 2017. Land consolidation in mountain areas. Case study from southern Poland. *Geodesy and Cartography* 66(2). <https://doi.org/10.1515/geocart-2017-0010>
- Jabs-Sobocinska Z., Affek A. N., Ewiak I., Niță M. D., 2021. Mapping Mature Post-Agricultural Forests in the Polish Eastern Carpathians with Archival Remote Sensing Data. *Remote Sensing* 13. <https://doi.org/10.3390/rs13102018>
- Jordán F., Báldi A., Orci K.-M., Rácz I., Varga Z., 2019. Considering landscape connectivity and gene flow in the Anthropocene using complementary landscape genetics and habitat modelling approaches. *Landscape Ecology* 34: 521–536. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00789-9>
- Kaim D., Ziółkowska E., Szwagrzyk M., Price B., Kozak J., 2019. Impact of Future Land Use Change on Large Carnivores Connectivity in the Polish Carpathians. *Land* 8 (1): 8. <https://doi.org/10.3390/land8010008>
- Kajtoch L., Zmihorski M., Bonczar Z., 2012. Hazel Grouse occurrence in fragmented forests: Habitat quantity and configuration is more important than quality. *European Journal of Forest Research* 131(6): 1783-1795. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0632-7>
- Kanuch P., Jarcuska B., Schlosserova D., Sliacka A., Paule L., Kristin A., 2012. Landscape configuration determines gene flow and phenotype in a flightless forest-edge ground-dwelling bush-cricket, Pholidoptera griseoaptera. *Evolutionary Ecology* 26:1331–1343. <https://doi.org/10.1007/s10682-012-9571-5>
- Kim, K.C., Weaver, R. D., 1994. *Biodiversity and landscapes: A paradox to humanity*. Cambridge University Press, Cambridge, 448 p.
- Kindlmann P. Ć., Burel F., 2008. Connectivity measures: a review. *Landscape Ecology* 23: 879–890. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9245-4>
- Klaučo M., Weis K., Stankov U., Arsenovic D., Marković V., 2012. Ecological significance of land-cover based on interpretation of human-tourism impact. A case from two different protected areas (Slovakia and Serbia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 7(3): 231-246
- Klinga P., Smolko P., Krajmerova D., Paule L., 2017. Landscape genetics highlight the importance of sustainable management in European mountain spruce forests: a case study on Western capercaillie. *European Journal of Forest Research* 136(5-6): 1041–1050. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1034-7>
- Knorn J., Kuemmerle T., Radeloff V. C., Szabo A., Mindrescu M., Keeton W. S., Abrudan I., Griffiths P., Gancz V., Hostert P., 2012. Forest restitution and protected area effectiveness in post-socialist Romania. *Biological Conservation* 146: 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011>
- Kubala J., Gregorová E., Smolko P., Klinga P., Ifko T., Kaňuch P., 2020. The coat pattern in the Carpathian population of Eurasian lynx has changed: a sign of demographic bottleneck and limited connectivity. *European Journal of Wildlife Research* 66 (2). <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1338-7>
- Kucsicsa G., Dumitrica C., 2019. Spatial modelling of deforestation in Romanian Carpathian Mountains using GIS and Logistic Regression. *Journal of Mountain Science* 16(5): 1005-1022. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5053-8>
- Kuemmerle T., Hostert P., Kruhlov I., 2007. Post-socialist forest disturbance in the Carpathian border region of Poland, Slovakia, and Ukraine. *Ecological Applications* 17(5): 1279-1295. <https://doi.org/10.1890/06-1661.1>
- Kuemmerle T., Levers C., Bleyhl B., Olech B., Perzanowski K., Reusch C., Kramer-Schadt S., 2018. One size does not fit all: European bison habitat selection across herds and spatial scales. *Landscape Ecology* 33(1). <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0684-2>
- 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(4): 908-916. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.038>
- Lacko J., Topercer J., Sulovsky M., 2018. How disturbances and management practices affect bird communities in a Carpathian river ecosystem. *Acta Oecologica* 88: 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.03.004>
- Mikoláš M., Tejkal M., Kuemmerle T., Griffiths P., Svoboda M., Hlásny T., Leitão P. J., Morrissey R. C., 2017. Forest management impacts on capercaillie (*Tetrao urogallus*) habitat distribution and connectivity in the Carpathians. *Landscape Ecology* 32(1). <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0433-3>
- Nicu I. C., Stoleriu C., 2019. Land use changes and dynamics over the last century around churches of Moldavia, Bukovina, Northern Romania - Challenges and future perspectives. *Habitat International* 88: 101979. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.04.006>
- Niculae M.I., Avram S., Vânău G.O., Pătroescu M., 2017. Effectiveness of Natura 2000 network in Romanian

- Alpine Biogeographical Region: an assessment based on forest landscape connectivity. *Annals of Forest Research* 60(1). <https://doi.org/10.15287/afr.2016.793>
- Niculae M. I., Niță M. I., Vânău G. O., Pătroescu M., 2016. Evaluating the Functional Connectivity of Natura 2000 Forest Patch for Mammals in Romania. *Procedia Environmental Sciences* 32. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.009>
- Niedziałkowska M., Jędrzejewski W., Mysłajek R. W., Nowak S., Jędrzejewska B., Schmidt K., 2005. Environmental correlates of Eurasian lynx occurrence in Poland – Large scale census and GIS mapping. *Biological Conservation* 133 (1): 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.05.022>
- Niță M. R., Năstase I. I., Badiu D. L., Onose D. A., Gavriliadis A. A., 2018. Evaluating Urban forests connectivity in relation to urban functions in Romanian Cities. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1): 291-299. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/025>
- Ostapowicz K., Estreguil C., Kozak J., Vogt P., 2006. Assessing forest fragmentation and connectivity: A case study in the Carpathians. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 6366, Stockholm. <https://doi.org/10.1117/12.689573>
- Pătru-Stupariu I., Angelstam P., Elbakidze M., Huzui A., Andersson K., 2013. Using forest history and spatial patterns to identify potential high conservation value forests in Romania. *Biodiversity and Conservation* 22(9). <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0523-3>
- Pătru-Stupariu I., Stupariu M. S., Stoicescu I., Peringer A., Buttler D. A., Fürst C., 2017. Integrating geo-biodiversity features in the analysis of landscape patterns. *Ecological Indicators* 80: 363-375. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.010>
- Pătru-Stupariu I., Stupariu M. S., Tudor C. A., Grădinaru S. R., Gavriliadis A., Kienast F., Hersperger A. M., 2015. Landscape fragmentation in Romania's Southern Carpathians: Testing a European assessment with local data. *Landscape and Urban Planning* 143. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.002>
- Părvulescu L., Iorgu E-I., Zaharia C., Ion M.C., Satmari A., Krapal A-M., Popa O-P., Miok K., Petrescu I., Popa L-O., 2020. The future of endangered crayfish in light of protected areas and habitat fragmentation. *Scientific Reports* 10(1): 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71915-w>
- Pintilii R. D., Andronache I., Diaconu D. C., Dobreă R. C., Zelenáková M., Fensholt R., Peptenatu D., Drăghici C. C., Ciobotaru A. M., 2017. Using Fractal Analysis in Modeling the Dynamics of Forest Areas and Economic Impact Assessment: Maramures, County, Romania, as a Case Study. *Forests* 8(1): 25. <https://doi.org/10.3390/f8010025>
- Pop M. I., Iosi R., Miu I. V., Rozyłowicz L., Popescu V. D., 2018. Combining resource selection functions and home-range data to identify habitat conservation priorities for brown bears. *Animal Conservation* 21 (4): 352-36. <https://doi.org/10.1111/acv.12399>
- Research and Initiative Center, 2017. Web: <https://ric.psu.edu.sa/journals-isi-quartiles.php>. Accesat: 10.2021.
- Rozyłowicz L., Popescu V. D., Pătroescu M., Chișamera G., 2011. The potential of large carnivores as conservation surrogates in the Romanian Carpathians. *Biodiversity and Conservation* 20: 561–579. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9967-x>
- Sahlean T. C., Papeș M., Strugariu A., Gherghel I., 2020. Ecological corridors for the amphibians and reptiles in the Natura 2000 sites of Romania. *Scientific Reports* 10: 19464. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76596-z>
- Saura S., Estreguil C., Mouton C., Rodriguez- Freire M., 2011. Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application to European forests (1990–2000). *Ecological Indicators* 11: 407-416. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.011>
- Săvulescu I., Mihai B. A., Virghileanu M., Nistor C., Olariu B., 2019. Mountain Arable Land Abandonment (1968–2018) in the Romanian Carpathians: Environmental Conflicts and Sustainability Issues. *Sustainability* 11(23): 6679. <https://doi.org/10.3390/su11236679>
- Sorrell, J.P. 1998. Using geographic information systems to evaluate forest fragmentation and identify wildlife corridor opportunities in the Cataraqi Watershed. York University Faculty of Environmental Studies, Ontario.
- Stăncioiu P. T., Niță M. D., Lazăr G. E., 2018. Forestland connectivity in Romania-Implications for policy and management. *Land Use Policy* 76: 487-499. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.028>
- Szymura T. H., Szymura M., 2019. Spatial structure of grassland patches in Poland: implications for nature conservation. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 88(1). <https://doi.org/10.5586/asbp.3615>
- Taylor P. D., Fahrig L., Henein K., Merriam G., 1993. Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure. *Oikos* 68(3): 571-573. <https://doi.org/10.2307/3544927>
- Ursu A., Stoleriu C. C., Ion C., Jitariu V., Enea A., 2020. Romanian Natura 2000 Network: Evaluation of the Threats and Pressures through the Corine Land Cover Dataset. *Remote Sensing* 12(2075). <https://doi.org/10.3390/rs12132075>
- van Oort H., McLellan B. N., Serrouya R., 2011. Fragmentation, dispersal and metapopulation function in remnant populations of endangered mountain caribou. *Animal Conservation* 14: 215–224. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00423.x>
- Vatseva R., Kopecka M., Novacek J., 2016. Mapping Forest Fragmentation Based on Morphological Image Analysis of Mountain Regions in Bulgaria and Slovakia. In: Zhelezov G. (ed.), *Sustainable Development in Mountain Regions*. Springer International Publishing, New York, pp. 167-181. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20110-8_11
- Vezeanu C., Pop O. G., Gruia R., Mărculescu A., 2017. Geospatial techniques in the cartography and management of habitats in Piatra Craiului National Park. *Envi-*

- ronmental Engineering and Management Journal 9(12): 1611-1617. <https://doi.org/10.30638/eemj.2010.221>
- Vogt P., Riitters K. H., Iwanowski M., Estreguil C., Kozak J., Soille P., 2007. Mapping landscape corridors. *Ecological Indicators* 7(2): 481-488. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.11.001>
- Vorovencii I., 2013. Identification of illegal loggings in Harghita Mountains, Romania, using landsat satellite images. 13th SGEM Geoconference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BB2.V2/S10.009>
- Vorovencii I., 2015. Quantifying landscape pattern and assessing the land cover changes in Piatra Craiului National Park and Bucegi Natural Park, Romania, using satellite imagery and landscape metrics. *Environmental Monitoring & Assessment* 187(11): 692. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4909-4>
- Vorovencii I., 2018. Quantification of forest fragmentation in pre- and post-establishment periods, inside and around Apuseni Natural Park, Romania. *Environmental Monitoring & Assessment* 190(6): 367. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6741-0>
- With K. A., King A.W., 1999. Dispersal success on fractal landscapes: a consequence of lacunarity thresholds. *Landscape Ecology* 14:73-82. <https://doi.org/10.1023/A:1008030215600>
- Ziółkowska E., Ostapowicz K., Kuemmerle T., Perzanowski K., Radeloff V. C., Kozak J., 2012. Potential habitat connectivity of European bison (*Bison bonasus*) in the Carpathians. *Biological Conservation* 146 (1): 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.017>
- Ziółkowska E., Ostapowicz K., Radeloff V. C., Kuemmerle T., 2014. Effects of different matrix representations and connectivity measures on habitat network assessments. *Landscape Ecology* 29: 1551-1570. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0075-2>
- Ziołkowska E., Ostapowicz K., Radeloff V. C., Kuemmerle T., Sergiel A., Zwijacz-Kozica T., Zieba F., Smietana W., Selva N., 2016. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown