

**METODE****METODOLOGIJA DOLOČANJA FRAGMENTIRANOSTI GOZDA**

AVTOR

**Sebastijan Borko**

Kovača vas 15, SI – 2310 Slovenska Bistrica, Slovenija

seba\_borko@yahoo.com

UDK: 911.2:630\*1(497.4)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

**Metodologija določanja fragmentiranosti gozda**

V prispevku je prikazana metodologija določanja fragmentiranosti gozda na rastrskih podatkovnih slojih. Na temelju osmih kazalcev (delež gozda, zveznost gozda, umerjena ponderirana površina gozda, delež robne cone, povprečna globina gozda, povprečna ameoidnost gozda, povprečna oddaljenost od gozda in povprečna izoliranost gozda) se količinsko določa stopnja razčlenjenosti, razdrobljenosti oziroma razpadlosti gozdne matice. Metodologija je deloma povzeta, deloma pa modificirana in prilagojena razmeram v Sloveniji.

KLJUČNE BESEDE

gozd, fragmentiranost, fragmentacija, kazalci, pokrajinska ekologija, Slovenija

ABSTRACT

**The methodology of defining forest fragmentation**

The article presents methodology of defining forest fragmentation on raster data. Eight indices (forest proportion, forest continuity, moderated weighted forest area, edge zone proportion, average forest depth, average forest dismemberment, average distance from the forest, average forest isolation) quantitatively define forest dismemberment, fragmentation respectively forest disintegration stage. Presented methodology is partly adopted, further modified and adapted to Slovenian conditions.

KEY WORDS

forest, fragmentation, indices, landscape ecology, Slovenia

Uredništvo je prispevek prejelo 31. januarja 2005.

## 1 Uvod

**Fragmentacija gozda** je proces, »... ko večja sklenjena površina gozda, gozdna matica, preide v več manjših, izoliranih gozdnih fragmentov ali zaplat z manjšo skupno površino ...« (Kryštufek 1999, 115; Pullin 2002, 78; Primack 1998, 216). Pri fragmentaciji se površina gozda zmanjšuje, hkrati pa se povečuje število zaplat. **Fragmentiranost gozda** pa prikazuje stopnjo razdrobljenosti, razpadlosti in razčlenjenosti gozdne matice. Gozd pri preučevanju njegove fragmentiranosti in fragmentacije vrednotimo iz ptičje perspektive. V ospredju je pogled iz zraka, analiziramo pa obliko, velikost, globino, razčlenjenost, lego, povezanost, medsebojno oddaljenost, razmeščenost in izoliranost gozdnih zaplat, delež robne cone, delež notranjega gozda in drugo.

Metodologija določanja fragmentiranosti gozda je bila razvita za preučevanje stanja fragmentiranosti in procesa fragmentacije gozda v določeni zvezni prostorski enoti. Z metodologijo je možno ugotoviti in količinsko opredeliti stanje razpadlosti gozdne matice ter uporabiti za spremljanje časovnega spreminjanja fragmentiranosti. Metodologiji »model fragmentiranosti gozda« in »indeks fragmentiranosti gozda« sta deloma povzeti, deloma modificirani in izpopolnjeni ter s tem prilagojeni slovenskim razmeram in podatkovnim slojem, ki temeljijo na rastrskih satelitskih slikah. Kazalci fragmentiranosti gozda so bili določeni z vidika pokrajinske ekologije in otoške biogeografije, za katero je poleg deleža robne cone, oblike, velikosti, globine, razčlenjenosti, lege, povezanosti in razmeščenosti pomembna tudi medsebojna oddaljenost in izoliranost gozdnih zaplat.

Izraz fragmentiranost gozda temelji na angleški besedi *fragment* in pomeni odlomek, delec, drobec. Pojem bi lahko nadomestili z izrazi, kot so razdrobljenost, razčlenjenost, razpadlost gozda, vendar vsak od teh izrazov ne vsebuje v celoti pomena izraza fragmentiranost, zato v prispevku uporabljam že uveljavljeni izraz.

## 2 Model fragmentiranosti gozda

Model fragmentiranosti gozda je razvila skupina raziskovalcev (Riitters, Wickham, O'Neill, Jones, Smith 2003) za hitro in enostavno merjenja fragmentiranosti gozda. Za izdelavo modela v okviru rasterskega geografskega informacijskega sistema sta potrebni dve vrednosti, ki določata kategorijo posamezne celice gozda znotraj filtra. Prva vrednost je Pf, ki izraža delež gozda znotraj filtra, druga vrednost pa Pff, ki prikazuje zveznost gozda znotraj filtra. V filtru, katerega središčna celica je gozd, je Pf količnik med številom celic znotraj filtra, ki so gozd, in številom celic v filtru, ki niso voda. Druga vrednost, Pff, meri zveznost gozda znotraj filtra, in sicer tako, da primerja celične pare znotraj okna filtra. Pff je količnik med številom celičnih parov, v katerem obe celici predstavljata gozd, in številom celičnih parov, v katerem vsaj ena celica predstavlja gozd. Pregledujejo se celični pari v smeri sever–jug in smeri vzhod–zahod. Iz vrednosti Pf in Pff je izpeljanih šest tipov gozdnih celic: notranji, robni, perforirani, prehodni, zaplatni in nedoločeni gozd.

Izvirno metodologijo sem prilagodil razmeram v Sloveniji in podatkovnim slojem satelitskih slik z ločljivostjo 40 krat 40 metrov ter izdelavo modela fragmentiranosti gozda razdelil v dva temeljna koraka.

V prvem koraku sem določil obseg robne cone in notranjega gozda. Pri določanju obsega robne cone sem uporabil filter velikosti tri krat tri celice. Izračunane vrednosti Pf sem razdelil v dve kategoriji. Prava kategorija je **notranji gozd**, pri katerem vse celice, ki obkrožajo središčno celico v filtru velikosti tri krat tri, predstavljajo gozd in je vrednost Pf enaka ena. Druga kategorija je **robna cona**, kjer vsaj ena izmed celic, ki obkrožajo središčno celico v filtru velikosti tri krat tri, ne predstavlja gozda in ni voda. Vrednost Pf je manjša od ena.

V drugem koraku sem celice robne cone razdelil na nadaljnjih pet kategorij, in to z uporabo filtra velikosti sedem krat sedem celic. Za določitev teh kategorij sem uporabil vrednost Pf in razlik med vrednostma Pf in Pff. V primerjavi z izvirno metodologijo sem modificiral kriterije, ki določajo kategorije robne cone (preglednica 1).

Končni rezultat korakov je model fragmentiranosti gozda. Vsaka gozdna celica v rastrski sliki ima pripisano novo vrednost in je razvrščena v novo kategorijo glede na kriterije.

*Preglednica 1: Kategorije robne cone z izvirnimi in modificiranimi kriteriji razmejitev.*

kategorija robne cone	izvirna razmejitev Pf	modificirana razmejitev Pf	izvirna razmejitev Pf – Pff	modificirana razmejitev Pf – Pff
perforirani gozd	Pf > 0,6	Pf > 0,30	Pf – Pff > 0	Pf – Pff > 0,0025
robni gozd	Pf > 0,6	Pf > 0,30	Pf – Pff < 0	Pf – Pff < –0,0300
prehodni gozd	0,4 < Pf < 0,6	0,15 < Pf < 0,30	/	/
zaplatni gozd	Pf < 0,4	Pf < 0,15	/	/
nedoločeni gozd	Pf > 0,6	Pf > 0,30	Pf = Pff	–0,0300 < Pf – Pff < 0,0025

### 3 Indeks stanja fragmentiranosti gozda

Raziskovalci (Hurd, Wilson, Civco 2003) so na podlagi rezultatov modela fragmentiranosti razvili metodologijo za določanje stanje fragmentiranosti gozda oziroma indeks gozdne fragmentiranosti znotraj posameznih prostorskih enot, ki je sestavljen iz dveh delov. Prvi del je **delež gozda** DG, ki predstavlja razmerje med površino gozda in površino prostorske enote, ki je ne pokriva voda. Drugi del pa predstavlja **zveznost gozda** ZG, ki je zmnožek med površino največje zaplate notranjega gozda in ponderirano površino gozda, deljeno s površino gozda. Izvirna metodologija predvideva, da se za izračun zveznosti gozda uporabi vrednost, ki kaže, kolikšen delež gozda predstavlja površina največje zaplate notranjega gozda, dopolnjena metodologija pa namesto največje zaplate notranjega gozda upošteva največjo sklenjeno površino notranjega gozda v prostorski enoti. Za izračun zveznosti gozda je potrebna tudi ponderirana površina gozda PPG, ki se določi tako, da se vsaka celica gozda obteži s ponderjem glede na kategorijo, v katero je bila razporejena v modelu fragmentiranosti gozda. Ponderji so bili izpeljani iz srednjih vrednosti Pf za vsako kategorijo gozda. Ker so bili kriteriji za določanje kategorij gozda modificirani, je prišlo tudi do spremembe v izračunu ponderirane površine gozda, in sicer:

$$PPG = P_N + (0,65 \cdot P_{P+R+NED}) + (0,225 \cdot P_{PR}) + (0,075 \cdot P_Z),$$

pri čemer je PPG ponderirana površina gozda,  $P_N$  površina notranjega gozda,  $P_{P+R+NED}$  površina perforiranega, robnega in nedoločljivega gozda,  $P_{PR}$  površina prehodnega gozda in  $P_Z$  površina zaplatnega gozda.

Zveznost gozda je razmerje med ponderirano površino gozda in površino gozda, pomnoženo z razmerjem med največjo sklenjeno površino notranjega gozda in površino gozda. Izračun zveznosti gozda po modifikaciji je:

$$ZG = (PPG : PG) \cdot (P_{NOTMAX} : PG),$$

pri čemer je ZG zveznost gozda, PPG ponderirana površina gozda, PG površina gozda in  $P_{NOTMAX}$  največja sklenjena površina notranjega gozda.

### 4 Kazalci fragmentiranosti gozda

Indeks fragmentiranosti gozda (Hurd, Wilson, Civco 2003) oziroma kazalci, kot sta delež gozda in zveznost gozda, ki vsebuje kazalca ponderirana površina gozda in delež največje sklenjene površine notranjega gozda, pa so včasih premalo natančni, zato sem za natančnejše določanje stanje, posebnosti in razlik

v fragmentiranosti gozda med posameznimi prostorskimi enotami, dodal še nekaj novih kazalcev: delež robne cone, povprečno globino gozda, povprečno ameboidnost gozda, povprečno oddaljenost od gozda in povprečno izoliranost gozda.

**Delež gozda** je razmerje med površino gozda in površino prostorske enote, ki je ne pokriva voda. Je najosnovnejši, vendar bolj posredni kazalec fragmentiranosti gozda. Na splošno velja, da z večanjem deleža gozda v prostorski enoti narašča fragmentiranost gozda in obratno. Obstaja pa tudi nelinearna zveza med deležem gozda v prostorski enoti in stopnjo fragmentiranosti gozda (Hurd, Wilson, Civco 2003), zato je delež gozda vendarle le okvirni kazalec, ki bolje kaže na količino kot fragmentiranost gozda.

**Ponderirana površina gozda** je povzeta po modelu in indeksu fragmentiranosti gozda. Vrednosti ponderiranih površin gozda ni možno primerjati med posameznimi prostorskimi enotami, zato jo je smiselno umeriti. Umerjena ponderirana površina gozda je količnik med ponderirano površino gozda in površino gozda. **Umerjena ponderirana površina gozda** se izračuna po naslednji enačbi:

$$UPPG = PPG : PG,$$

kjer je UPPG umerjena ponderirana površina gozda, PPG ponderirana površina gozda in PG površina gozda. Višja je vrednost umerjene ponderirane površine gozda, višji je delež notranjega gozda in nižji delež robne cone. Nižja je vrednost umerjene ponderirane površine gozda, nižji je delež notranjega gozda in višji delež robne cone. Ob večji izpostavljenosti gozdnih »polotokov« se poveča delež robnega, prehodnega, nedoločljivega in perforiranega gozda, ob večjem številu najmanjših gozdnih zaplat pa se poveča delež zaplatnega gozda, kar na koncu prispeva k nižji vrednosti umerjene ponderirane površine gozda in pokaže na večjo stopnjo razčlenjenosti zaplat.

**Zveznost gozda** je povzeta po indeksu fragmentiranosti gozda. Je eden najpomembnejših kazalcev fragmentiranosti gozda, saj kaže stopnjo kompaktnosti, povezanosti gozda oziroma kolikšen delež gozda je še zvezen. Upoštevana je le največja sklenjena površina notranjega gozda, ne pa tudi po velikosti druga ali katera koli naslednja sklenjena površina notranjega gozda, zato je ta kazalec nekoliko vprašljivo uporabiti v tistih prostorskih enotah, kjer dve ali več podobno velikih največjih sklenjenih površin notranjega gozda zavzemajo večino gozda v tisti prostorski enoti.

Zelo pomemben kazalec fragmentiranosti gozda je **delež robne cone**, ali temu nasprotni kazalec, ki ima enak pomen, to je **delež notranjega gozda**. Delež robne cone je razmerje med površino robne cone in površino gozda. Razmerje med površino robne cone in notranjega gozda je pomembno predvsem iz ekološkega in estetskega vidika (oblika zaplat). Delež robne cone je odvisen od dogovorjene globine gozdnega roba. Določanje širine gozdnega roba pa je odvisno od namena oziroma kriterijev opredeljevanja, kot so na primer veter, mikroklima, prisotnost določenih vrst, hrup, osvetlitev, ekspozicija ali naklon (Anko 1998, 174). Anko (1998, 174) predlaga, da se s praktičnega vidika za širino gozdnega roba zaplat arbitrarno določi pas širine 50 m. Omejitev za določanje globine gozdnega roba pa lahko predstavlja ločljivost uporabljenih rastrskih podatkov.

Pomembna je tudi globina zaplat, ki kaže na strukturo notranjega okolja v zaplatah. Pojem globina zaplate sta pri nas predstavila Hladnik in Zafran (Anko 1998, 176). Z globino zaplate je izražena površina zaplate, ki je od roba gozda oddaljena za več kot neko določeno razdaljo, ki je običajno mnogokratnik širine gozdnega roba. Na rastrskih satelitskih podatkovnih slojih ni možno razločiti mej med posameznimi zaplatami oziroma so v večini primerov zabrisane, zato se namesto kazalca povprečna globina zaplat uporabi kazalec povprečna globina gozda. **Povprečna globina gozda** je zasnovana na oddaljenosti posamezne gozdne celice od roba gozda in površini, ki jo ta celica zavzema, in kaže, koliko so gozdne površine v povprečju oddaljene od najbližjega gozdnega roba. Pri povprečni globini gozda se upošteva vsa površina gozda, kar odpravlja pomanjkljivosti, ki jih imata kazalec delež robne cone, ki upošteva samo razmerje med robno cono in površino gozda, in kazalec zveznost gozda, ki upošteva samo največjo sklenjeno površino notranjega gozda. Izračuna se tako, da se oddaljenost gozda od roba razdeli na več pasov, za vsakega pa se določi povprečna vrednost oddaljenosti, ki predstavlja sredino razreda. Nato se za vsak razred izračuna površina gozda, ki jo zavzema, ta površina se pomnoži

s sredino razreda, nato pa se seštejejo vse ponderirane površine. Vsota se deli s površino vsega gozda v posamezni prostorski enoti, rezultat pa je povprečna globina gozda. Enačba je:

$$PGL = \sum ((P_{\text{RAZGLOB}} \cdot A_{\text{RAZGLOB}}) : PG),$$

kjer je PGL povprečna globina gozda, PG površina gozda,  $P_{\text{RAZGLOB}}$  površina razreda globine in  $A_{\text{RAZGLOB}}$  aritmetična sredina razreda.

**Povprečna ameboidnost gozda** je kazalec, ki kaže stopnjo razčlenjenosti gozda in je razmerje med dolžino gozdnega roba in površino gozda v prostorski enoti. Enačba za izračun je:

$$AM = D_{\text{GR}} : PG,$$

pri čemer je AM ameboidnost gozda,  $D_{\text{GR}}$  dolžina gozdnega roba in PG površina gozda. Na vrednosti povprečne ameboidnosti gozda vplivajo velikost in globina zaplat ter oblikovanost gozdnega roba in drugo. Bolj je gozdni rob razčlenjen, več je »polotokov« in »zalivov« oziroma manjša je površina gozda, večja je ameboidnost. Večje vrednosti ameboidnosti gozda s pokrajinskoekološkega vidika pomenijo večji delež in pomen robne cone in večjo razčlenjenost gozda.

Kazalca povprečna oddaljenost od gozda in povprečna izoliranost gozda temeljita na teoriji otoške biogeografije, kjer je pomembna tudi razdalja in stopnja prehodnosti med »gozdnimi otoki«. **Povprečna oddaljenost od gozda** je kazalec, ki pove, za koliko so negozdne površine v povprečju oddaljene od kateregakoli najbližjega roba gozda. Celicam negozdnih kategorij se določi razdalja do najbližjega gozdnega roba in se jih razdeli na pasove po oddaljenosti od gozdnega roba. Za vsak pas oddaljenosti od gozda se izračuna površina, ki jo zavzema, ta površina se pomnoži s sredino razreda (srednjo oddaljenost celic, ki so v določenem pasu), vrednosti pa se seštejejo. Vsota se deli s površino vseh negozdnih površin v prostorski enoti, rezultat je povprečna oddaljenost negozdnih površin od gozdnega roba v prostorski enoti. Povprečna oddaljenost od gozda se izračuna po enačbi:

$$POD = \sum ((P_{\text{RAZODD}} \cdot A_{\text{RAZODD}}) : P_{\text{NEGOZDA}}),$$

kjer je POD povprečna oddaljenost od gozda,  $P_{\text{RAZODD}}$  površina razreda oddaljenosti,  $A_{\text{RAZODD}}$  aritmetična sredina razreda in  $P_{\text{NEGOZDA}}$  površina negozda. Povprečna oddaljenost negozdnih površin od gozdnega roba posredno kaže na stopnjo prehodnosti med gozdnimi površinami.

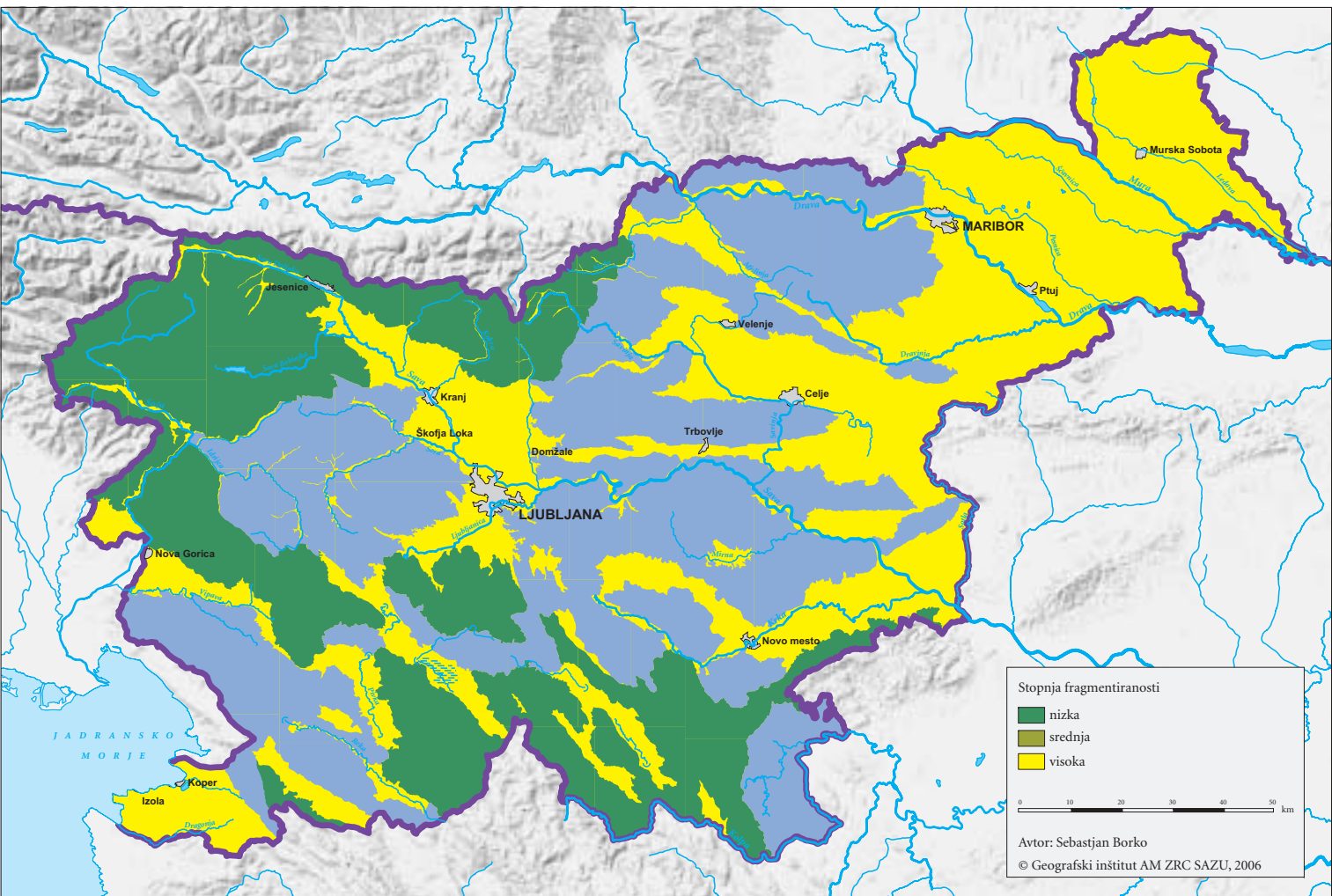
Kazalec povprečna izoliranost gozda je nadgradnja kazalca povprečne oddaljenosti negozda od gozdnega roba. Poleg oddaljenosti se upošteva tudi struktura pokrovnosti tal negozdnih površin med posameznimi »gozdnimi otoki«. Povprečna izoliranost gozda neposredno kaže na stopnjo prehodnosti med gozdnimi površinami. Negozdnim kategorijam pripišemo določeno vrednost oziroma ponder, ki določa stopnjo prehodnosti za organizme, na primer za kmetijske površine ena, za vode tri, za skalnate, odprte, pozidane in sorodne površine pa ponder pet. Določanje ponderjev temelji na prehodnosti posameznih kategorij pokrovnosti tal. Ponderirano vrednost negozdnih kategorij pokrovnosti tal pomnožimo z oddaljenostjo posamezne celice od gozdnega roba in dobljene rezultate razdelimo v izbrano število razredov. Za vsak dobljeni razred se izračuna površina, ki jo zavzema, le-ta pa se pomnoži s sredino razreda. Dobljene vrednosti se seštejejo, vsota deli s površino vseh negozdnih površin, rezultat pa je povprečna izoliranost gozda v posamezni prostorski enoti. Povprečna izoliranost gozda se izračuna po enačbi:

$$PIZ = \sum ((P_{\text{RAZIZO}} \cdot A_{\text{RAZIZO}}) : P_{\text{NEGOZDA}}),$$

kjer je PIZ povprečna izoliranost,  $P_{\text{RAZIZO}}$  površina razreda izoliranosti,  $A_{\text{RAZIZO}}$  – aritmetična sredina razreda in  $P_{\text{NEGOZDA}}$  površina negozda.

## 5 Sklep

S temi kazalci lahko količinsko opredeljujemo stanje fragmentiranosti gozda v prostorski enoti. Metodologijo smo preizkusili na primeru Slovenije. Uporabili smo zemljevide pokrovnosti tal z ločljivostjo





*Slika 1: Stopnja fragmentiranosti gozda v Sloveniji.*

40 krat 40 m, ki so jih iz satelitskih slik izdelali na Statističnem uradu Republike Slovenije. Kot temeljne prostorske enote smo izbrali najmanjše zvezne prostorske enote, izpeljane iz pokrajinskoekoloških tipov (Špes, Cigale, Lampič, Natek, Plut, Smrekar 2002), in jih s pomočjo dobljenih vrednosti kazalcev fragmentiranosti gozda glede na količinske kriterije razdelili na tiste z nizko, srednjo in visoko stopnjo fragmentiranosti gozda.

Metodologija, povzeta po avtorjih Riitters, Wickham, O'Neill, Jones, Smith (2003) ter Hurd, Wilson, Civco (2003), je primerna za preučevanje stanja fragmentiranosti gozda in za sledenje sprememb v fragmentiranosti gozda na zelo velikih površinah, kjer nastajajo veliki posegi v gozdni prostor v relativno kratkem obdobju. V Sloveniji, kjer je prostorski obseg posegov v gozd majhen in kjer prevladuje razraščanje gozda nad krčenjem, je uporabnost omenjene metodologije omejena oziroma uporabna predvsem za analiziranje trenutnega stanja, ali pa za preučevanje sprememb v daljšem časovnem intervalu (vsaj 20 let). Z deležem gozda in zveznostjo gozda ni možno dovolj zanesljivo in natančno opisati stopnje fragmentiranosti gozda, zato smo v metodologijo dodali več kazalcev: povprečno ameboidnost, povprečno globino gozda, povprečno oddaljenost in povprečno izoliranost gozda, ki dodatno, vendar veliko bolj eksplicitno določajo stopnjo fragmentiranosti gozda. Uporabiti je mogoče še druge kazalce za opredeljevanje stanja fragmentiranosti gozda, kot so število zaplat, delež po površini zaplat, delež notranjega gozdnega roba, dolžina meja gozdnih zaplat s posameznimi rabami tal, velikost jedrne cone, zaplate, vključene v prostorsko enoto, zaplate, ki prostorsko enoto sekajo, ekotonsko območje, delež koridorjev v obravnavani prostorski enoti, neposredni vplivi koridorjev na zaplate, poreklo, nastanek zaplat, oblike zaplat, prostorski razpored vseh zaplat, poudarjene funkcije zaplat ali dinamika sprememb (Anko 1998), ki pa jih zaradi slabih ali neprimernih podatkov nismo uporabili.

## 6 Viri in literatura

- Anko, B. 1998: Krajinskoekološka izhodišča tipizacije gozdnate krajine. Zbornik gozdarstva in lesarstva 57, Ljubljana.
- Kryštufek, B. 1999: Osnove varstvene biologije. Ljubljana.
- Hurd, J., D., Wilson H., E., Civco, D., L. 2003: Development of a Forest Fragmentation Index to Quantify the Rate of Forest Change. Medmrežje: [http://resac.uconn.edu/publications/tech\\_papers/pdf\\_paper/Forest\\_Fragmentation\\_ASPRS2002.pdf](http://resac.uconn.edu/publications/tech_papers/pdf_paper/Forest_Fragmentation_ASPRS2002.pdf) (16. 7. 2003)
- Primack, B., R. 1998: Essentials of Conservation Biology, 2<sup>nd</sup> edition. Sunderland.
- Pullin, S., A. 2002: Conservation Biology. Cambridge.
- Riitters, K., Wickham, J., O'Neill, R., Jones, B., Smith, E. 2003: Global-scale Patterns of Forest Fragmentation. Conservation Ecology 4-2. Waterloo.
- Špes, M., Cigale, D., Lampič, B., Natek, K., Plut, D., Smrekar, A. 2002: Študija ranljivosti okolja (metodologija in aplikacija). Geographica Slovenica 35, 1-2. Ljubljana.

## 7 Summary: The methodology of defining forest fragmentation

(translated by the author and Darja Klemenčič)

The article presents the methodology of defining forest fragmentation on raster data. The methodology presents an approach to the forest fragmentation stage analysis.

Forest fragmentation is a state of forest area dismemberment or disintegration. It is also the process where a large continuous forest area is changed into two or more reduced (isolated) forest fragments.

When researching forest fragmentation, we observe the forest from the bird's-eye view and analyse attributes like shape, largeness, depth, dismemberment, position, connectedness, remoteness, displacement and isolation of forest fragments. Methodology basics are forest fragmentation model and forest fragmentation index, both partly adopted, further modified and adapted to Slovenian conditions.

**The forest fragmentation model** has been developed by a group of researchers (Riitters, Wickham, O'Neill, Jones, Smith 2003) to measure forest fragmentation in a simple and quick way. It categorizes forest cells in raster data to six different categories of forest fragmentation. The model generates two values, Pf and Pff, that define a single forest cell value within a filter. Pf is the quotient between number of cells within the filter that are forest and number of cells within the filter that are not water. On the other hand Pff is the quotient between number of cell pairs, where both cells represent forest and number of cell pairs, where at least one cell represents forest. Cell pairs in cardinal directions are examined only. Forest fragmentation model identifies six fragmentation categories: interior, patch, transitional, edge, perforated and undetermined forest. To separate fragmentation categories some modifications were introduced to the original model.

Some modifications were also implemented to the **forest fragmentation index** (Hurd, Wilson, Civco 2003). The forest fragmentation model is the basis for the forest fragmentation index. The forest fragmentation index identifies forest fragmentation state of a specified region. The state of forest fragmentation index is comprised of two parts. The first part is total forest proportion that represents ratio between total forest area and total non-water area. The second part of the forest fragmentation index measures forest continuity within the region. The forest continuity value is the quotient between weighted forest area and total forest area multiplied by the quotient between the largest continuous interior forest area and total forest area. Weighted averages for the weighted forest area were derived from median Pf values for each forest fragmentation category.

Because forest proportion index and forest continuity index can not adequately present the state of forest fragmentation in a region, additional indices were added. Indices derived from the original methodology are forest proportion, moderated weighted forest area, forest continuity and proportion of the largest continuous interior forest area. With intention to define forest fragmentation state more precisely, additional indices were added. Additional indices are: edge zone proportion, average forest depth, average forest dismemberment, average distance from the forest and average forest isolation.

**Forest proportion** is an index that basically but indirectly indicates the rate of forest fragmentation. In general we could say that larger is forest proportion in the region, lower is forest fragmentation stage and vice-versa. Smaller is forest proportion, higher forest fragmentation stage we can expect. But we have to remember that many investigators identified a non-linear relationship between the amount of forest in a region and the level of forest fragmentation. Therefore the forest proportion index is a frame index generally showing forest fragmentation state.

**Forest continuity** index is one of the most important indices indicating forest connectedness level and level of forest fragmentation. The forest continuity index indicates the stage of disintegrated forest area and above all proportion of the largest interior forest area that is still connected and continuous.

**Edge zone proportion index** indicates relation between forest edge and interior forest. The edge zone proportion depends on agreed depth of the forest edge. Defining a depth of the forest edge depends on intention or criteria like microclimate, wind, presence of certain edge species, noise, exposition, inclination ... From practical point of view Anko (1998, 174) proposes 50 m forest edge depth. Limitation for forest edge depth defining is a resolution of raster data. The edge zone proportion is the quotient between the edge zone area and total forest area.

**Average forest depth** is based on distance of a forest pixel from forest edge and its surface. Average forest depth is based on a distance between a single forest cell and the forest edge and on the surface the cell occupies. The average forest depth includes whole forest area, not only forest edge zone (like forest edge zone proportion index). It indicates average distance of the forest areas from the nearest forest edge.



**Average forest dismemberment** is the quotient between the length of the forest edge and the forest area in a region. It indicates state of forest dismemberment, which depends on an area and shape of the forest fragments.

Indices, average distance from the forest and average forest isolation, are based on the theory of an island bio-geography. **The average distance from the forest** index is based on a distance of non-forest areas from the nearest forest edge and its surface. **Average forest isolation** is advance index and beside distance of non-forest pixels from forest edge also include category of landscape cover of non-forest pixels. The average forest isolation index is an advanced index, which besides a distance of non-forest areas from the nearest forest edge, includes also the structure of a landscape covered by non-forest areas between single »forest islands«. The index directly determines transitiveness among the forest fragments.

With these eight indices it is possible to quantitatively define the state of forest disintegration, dismemberment respectively fragmentation in a specific region. The methodology is suitable for raster data format derived from satellite images with resolution around 40 m. The methodology that has been adopted from authors Riitters, Wickham, O'Neill, Jones, Smith (2003) and is adequate for researching large forest areas, where vast interventions into the forest rise in a relatively short period of time. Original methodology has been modified and adapted to Slovenian conditions. Although additional four indices were added, there are number of indices that also define the state of forest fragmentation but were left out, because no data existed or those indices were not proper for raster data. Introduced modifications into the original methodology and added indices, point out specificity of the forest fragmentation state in Slovenia and a need for a local study of this issue.

