

PRIMERJAVA IZBRANIH KRAJINSKO-EKOLOŠKIH KAZALCEV ZA GOZDOVE V DVEH RAZLIČNIH KRAJINSKIH TIPIH

COMPARISON OF SELECTED LANDSCAPE ECOLOGICAL FOREST METRICS IN TWO DIFFERENT LANDSCAPE TYPES

Janez PIRNAT¹

(1) Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, janez.pirnat@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

Z analizami sprememb krajinske zgradbe lahko tudi spremljamo, kako to vpliva na ocenjevanje pestrostne vloge gozda. V raziskavi smo ocenili, kateri kazalci za izračunavanje površin, jedrnih con in teženj k združevanju, katerih izračun omogoča program Fragstats 4.2, so najprimernejši glede na naše potrebe, kakšne so njihove omejitve in na kaj moramo biti še posebej pazljivi. Upoštevali smo različno ločljivost vhodnih podatkov ter različna pravila za izračune med rastrskimi celicami. Oboje smo primerjali za gozdove v dveh različnih krajinskih tipih, Kočevske in Slovenske Istre. Kot primerna se izkažeta osnovna kazalca površin CA in PLAND, za zahtevnejše potrebe tudi AREA_AM. Pri oceni jedrnih con sta prav tako najprimernejša osnovna kazalca površin TCA in CPLAND, poleg njiju je uporaben še kazalec števila jedrnih con na enoto površine DCAD, za podrobnejše prostorske ocene jedrnih con pa sta primerna kazalca CORE_AM in DCORE_AM. Pri oceni teženje k združevanju je najbolj uporaben kazalec gostote zaplat PD.

Ključne besede: krajinsko-ekološki kazalci, Fragstats, gozdovi, pestrostna funkcija

ABSTRACT

By analysing changes in landscape structure we can trace the influence they have on the evaluation of the diversity function of a forest. In the presented research, it was assessed which indices for computing areas, cores and aggregation tendencies that can be calculated with the Fragstats 4.2 programme best meet our needs, what limits they have and what we should pay special attention to. We considered differences in the resolution of incoming data and different rules for the calculation of raster cells. Both were compared for forests in two different landscape types: Kočevje and Slovenska Istra. The basic surface indices CA and PLAND proved to be the most suitable, while for more demanding purposes, AREA_AM can be used as well. For the evaluation of core areas, basic indices proved to be the most suitable, too, specifically TCA and CPLAND. Other important indices were the index of the number of core areas per surface unit DCAD and indices CORE_AM and DCORE_AM for a more detailed spatial evaluation of core areas, whereas most useful for the evaluation of aggregation tendency proved to be the patch density index PD.

Key words: landscape ecological indices, Fragstats, forests, diversity function

GDK 913/914(045)=163.6

Prispelo / Received: 24. 06 2015

Sprejeto / Accepted: 23. 10. 2015

1 UVOD

1 INTRODUCTION

V krajinsko-ekoloških raziskavah se navadno največ pozornosti nameni krajinski zgradbi, pogosto z namenom, da metodološko primerno podpremo prizadevanja za ohranjanje narave, v primeru gozdov pa so take raziskave pogosto podpora za ocenjevanje in prostorsko določane pestrostne vloge gozda. Danes, ko so praktično vsi prostorski podatki na voljo v digitalni obliki, se odpirajo nove možnosti za hitro presojo krajinske zgradbe. Do sedaj so se uveljavile številne metode, s katerimi je mogoče ovrednotiti zgradbo krajine v okolju GIS. Z najenostavnejšimi ovrednotimo medsebojna razmerja med rastrskimi celicami, ki predstavljajo posamezno kategorijo rabe tal. Po Riittersu in sod. (1995), ki je primerjal 55 različnih kazalcev v 85 različnih primerih krajin, je najbolj uporabnih

5 kazalcev: skupno število različne rabe tal v krajini (Dominance), težnjo k združevanju (Contagion Index), fraktalna dimenzija (Fractal Dimension), povprečno razmerje med obsegom in površino zaplate (Average Perimeter-area Ratio) ter relativna površina zaplate (Relative Patch Area). Poleg tega se pojavljajo še druge metode za oceno podobnih vrednosti zgradbe krajine. Tako Frohn (1997) predlaga še kazalec ocene gostote zaplat na enoto površine PPU (Patches Per Unit Area), s katerim že posega na področje gostot zaplat. Številni avtorji (prim. Ayad, 2015, Baker in Cai, 1992, Iverson, 1989, Kienast 1993, Rutlege, 2003, Schumaker, 1996) predlagajo še podobne sorodne kazalce, poleg površin so postali vse bolj zanimivi izračuni t.i. notranjih okolij oziroma jedrnih con. Z uveljavitvijo programskih orodij, kot je npr. program Fragstats (McGarigal in sod., 2012), so se možnosti za izračune različnih kazalcev

krajinske zgradbe povečale že skoraj do nepreglednosti.

Slovenija ima izjemno velik delež gozdov uvrščen v omrežje Natura 2000, tu je treba trajnost zagotavljati tudi s pomočjo ocen ohranjenosti gozdov. Zato nas je zanimalo, kateri prostorski znaki so primernejši pri ocenjevanju krajinske zgradbe, ko potrebujemo npr. krajinske kazalce za posredno oceno biotske pestrosti ali oceno ugodnega stanja kakega habitatnega tipa. Med najpomembnejše kazalnike po Golobu (2006) za ohranjenost gozdnih habitatnih tipov sodijo: površina, drevesna sestava (sestoj, površina), razvojne faze (malopovršinski / velikopovršinsko, več starih faz), habitatno drevje, odmrlo drevje, zelišča in grmovje, voda, mir in bioritem.

S pomočjo izbranih kazalcev krajinske zgradbe je mogoče ocenjevati tako spremembe površin zaplat in njihove povezljivosti (prim. Schumaker, 1996, Taylor in sod., 1993) kot tudi spremembe površin in prostorskega razporeda t.i. jedrnih con gozdnih zaplat, s tem pa je vsaj posredno možno ocenjevati površine, primerne za oceno miru in bioritma.

2 METODE DELA IN TESTNI PODROČJI

2 METHODS AND TEST AREAS

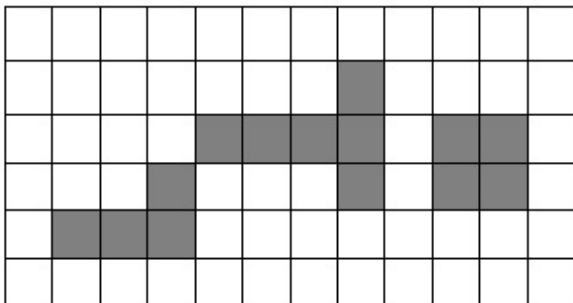
V pričujoči raziskavi smo izdelali pregled, kateri kazalci, katerih izračun omogoča program Fragstats 4.2, so najprimernejši glede na želje, ki jih v prostoru imamo, kakšne so njihove omejitve in na kaj mora biti uporabnik še posebej pazljiv. Na podlagi priporočil tako avtorja programa (McGarigal in sod., 2012, McGarigal, 2015) kot drugih raziskovalcev (Jaeger, 2000, Leitao in sod., 2006, Neel in sod., 2004) smo že po predhodnem izboru izločili kazalce, ki jih omenjeni raziskovalci ocenjujejo kot manj zanesljive ali premalo povedne.

Program Fragstats lahko ovrednoti naslednje skupine krajinskih kazalcev: površina in rob (*Area and Edge*), oblika (*Shape*), jedrne cone (*Core*), kontrast

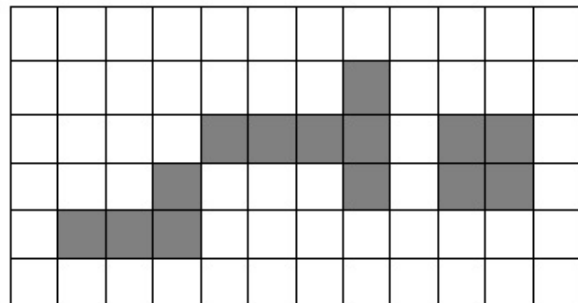
(*Contrast*), težnje k združevanju (*Aggregation*) in pestrost (*Diversity*). Ker program v bistvu računa vzorce in midsosedske odnose med rastrskimi celicami, se mora uporabnik najprej odločiti, katero izmed dveh »pravil« bo uporabil.

Po Pravilu »4x4« prepozna program celice kot del iste zaplate, če se stikajo z robom, diagonalni stik pomeni prekinitev in začetek druge zaplate. Po Pravilu »8x8« pa prepozna program tako diagonalni stik kot robni stik za celice iste zaplate. V krajinsko-ekoloških raziskavah pestrostne vloge gozda je model »8x8« navadno bolj spremenljiv, saj je ob prehajanju med zaplatami istega razreda tudi pri točkovnem stiku v resnici treba premostiti le minimalno razdaljo. Seveda pa se je mogoče iz različnih razlogov odločiti tudi za pravilo »4x4«. Zato smo v prvem koraku želeli preveriti, kateri krajinski kazalci so občutljivi za izbiro pravila (prim. slika 1a,b).

Naslednji pomemben podatek je odločitev za ločljivost rastrske karte. Seveda prinaša večja ločljivost mnogo bolj uporabne rezultate, smo pa lahko ob veliki površini tudi omejeni z zmogljivostjo računalnika ali računalniškega programa. Hkrati pa smo ob primerjavah kart iz različnih preteklih obdobij vezani na najnižjo ločljivost, v kateri imamo posamezne karte iz različnih obdobij sploh na voljo. V nadaljevanju smo zato želeli preveriti, kateri krajinski kazalci so bolj občutljivi za spremembo ločljivosti. V ta namen smo primerjali dve vsebinsko enaki karti rabe tal, enkrat v ločljivosti slikovne celice 5 m, drugič v ločljivosti slikovne celice 25 m. Že vnaprej se moramo zavedati omejitve 25 m ločljivosti, saj ob taki ločljivosti »izgubimo« vse majhne ali ozke krajinske elemente (npr. omejki, poti, potoki...). Ker so karte iz različnih časovnih obdobij in je bil zajem podatkov – razumljivo – v različnih obdobjih različno natančen, samo v naših analizah upoštevali le glavne kategorije rabe tal, kjer vpliva tovrstnih krajinskih elementov nismo upoštevali (slike 5, 6, 7). Z



Slika 1a: Pravilo »4 x 4« (3 zaplate)
Fig. 1a: Rule »4 x 4« (3 patches)



Slika 1b: Pravilo »8 x 8« (2 zaplati)
Fig. 1b: Rule »8 x 8« (2 patches)

analizami smo se omejili na spremembe v gozdni masi, zato smo izmed drugih kategorij rabe tal obdržali naselja, vse ostale kategorije pa smo prekategoriizirali v »drugo« rabo in izpeljali izračune za tako poenostavljene karte.

Nadalje je treba določiti, kako daleč v notranjost sega robni del gozda in kje se začne t.i. jedro notranjega okolja oziroma jedrne cone. Tu ni enovitega odgovora, oziroma je odločitev odvisna od pojava ali ekologije vrste, ki jo preučujemo. Za potrebe naše raziskave smo se odločili za razdaljo 250 m. Ob preučevanju, kako daleč v notranjost segajo vplivi roba, je Bentrup (2008) ugotovil, da je najmočnejši robni učinek opazen nekje od 300 do 1300 čevljev (cca 90 – 400 m) v notranjost. Če vzamemo zaplato okrogle ali kvadratne oblike, dobimo pri razdalji 250 m od roba vsaj 20 ha veliko površino, to pa je tista mejna vrednost, ko je po mnenju nekaterih strokovnjakov (Environment Canada, 2013) že mogoče zagotoviti obstoj vrst t.i. notranjega okolja. Razdalja 250 m od roba je torej lahko "udobna" meja začetka notranjih jedrnih con gozda.

Fragstats računa številne kazalce v zaplatah, pri čemer moramo ločevati izračun na nivoju zaplate (*Patch*) od izračuna na nivoju razreda oziroma rabe tal (*Class*) ali krajine (*Landscape*), prav tako pa je treba ločevati izračune z uporabo aritmetične sredine od tistih, ki uporabljajo tehtano sredino. V primerih izračuna površine zapisujemo ukazni modul za povprečno površino $AREA_{MN}$, za tehtno površino pa ukazni modul $AREA_{AM}$. V krajinskih analizah zaplat je modul, ki računa povprečno površino, praviloma manj uporaben od tistega, ki uporablja tehtano sredino, saj imajo v oceni pestrostne vloge velike zaplate precej drugačen pomen kot majhne (Forman 1995). Prav tako le redko naletimo na krajine, kjer bi bile vse zaplate določene rabe približno enako velike. Zaradi tega smo v naši raziskavi dosledno uporabljali tehtano sredino. Pri ocenah za razred smo prikazali podatke za gozd, le pri kazalcih na krajinski ravni, kot so gostota zaplat (PD, PPU), Združenost (CONTAGION), za celotno krajino.

2.1 Izbrani kazalci za oceno površin

2.1 Selected Area based indices

(CA) Skupna površina razreda v hektarih

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$$

a_{ij} = površina (m) zaplate ij

(PLAND) Delež gozda v krajini

$$Pi = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \quad (100)$$

P_i = delež krajine, ki jo zavzema posamezna raba i (gozd)

a_{ij} = površina (m²) zaplate ij.

A = skupna površina krajine (m²).

(LPI) Indeks največje gozdne zaplate

$$LPI = \frac{\max_{j=1 \text{ to } n} (a_{ij})}{A} \quad (100)$$

a_{ij} = površina (m²) zaplate ij.

A = skupna površina krajine (m²).

(AREA_AM) Tehtana povprečna površina zaplat posameznega razreda

$$AREA_{AM} = \sum_{j=1}^n \left[a_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

a_{ij} = površina (m²) zaplate ij.

(GYRATE_AM) Kako daleč v prostor segajo gozdne zaplate (razdalja med vsako celico v zaplati in centroidom zaplate)

$$GYRATE_{AM} = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{r=1}^z \left(\frac{h_{ijr}}{z} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

h_{ijr} = razdalja (m) med celico ijr znotraj zaplat izbrane rabe in centroidom zaplate

z = število celic v zaplati ij .

2.2 Izbrani kazalci za oceno jedrnih con

2.2 Selected Core Area indices

(TCA) Skupna površina jedrnih con razreda rabe tal

$$TCA = \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left(\frac{1}{10000} \right)$$

a_{ij}^c = jedrna cona (m²) zaplate ij, ki temelji na izbrani globini od roba (m)

(CORE_AM) Tehtana povprečna površina jedrnih con zaplat posameznega razreda ne glede na to, če je v eni zaplati ena jedrna cona, ali pa je v eni zaplati več jedrnih con

(DCORE_AM) Tehtana povprečna površina jedrnih con zaplat posameznega razreda glede na vsako jedrno cono v posamezni zaplati

(CPLAND) Delež jedrnih con glede na celotno površino krajine

$$CPLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{A} (100)$$

a_{ij}^c = jedrna površina (m²) zaplate ij glede na izbrano razdaljo od roba (m)

A = skupna površina krajine

(DCAD) Število jedrnih con glede na celotno površino krajine

$$DCAD = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}^c}{A} (10,000)(100)$$

n_{ij} = število ločenih jedrnih površin v zaplati ij, opredeljeno na izbrani globini roba (m)

A = skupna površina krajine (m²)

Indeks gozdnih jedrnih con (CAI_AM)

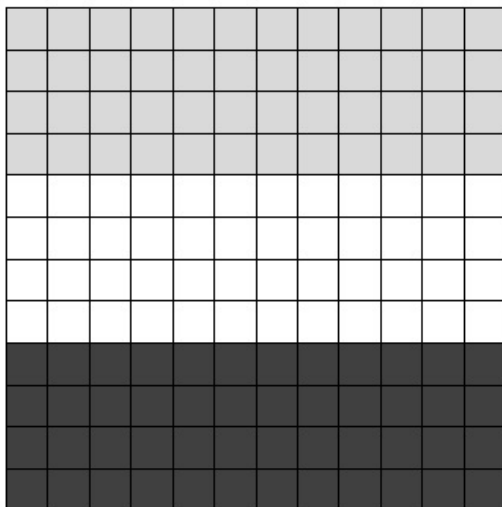
$$CAI = \frac{a_{ij}^c}{a_{ij}} (100)$$

a_{ij}^c = jedrna cona (m²) zaplate ij, ki temelji na izbrani globini od roba (m)

a_{ij} = površina (m²) zaplat ij

2.3 Izbrani kazalci za oceno težnje k združevanju

2.3 Selected Aggregation indices



Slika 2: Enak model z ločljivostjo 12 x 12 celic (a) in z ločljivostjo 6 x 6 celic (b)

(PD) Gostota zaplat

$$PD = \frac{n_i}{A} (10000)(100)$$

n_i = število zaplat danega razreda i v krajini

A = skupna površina krajine

(PPU) Razmerje zaplat dane rabe glede na celotno površino

$$PPU = \frac{m}{(n * \lambda)}$$

m = skupno število zaplat

n = skupno število pikslov

λ = velikost piksla, izražena v km²

(CONTAGION) združenost ali razpršenost rab tal

$$\text{Contagion (C)} = (1 + E/E_{\max}) * 100$$

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} h(P_{ij})$$

E_{\max} (za ohranjen razpored) = $2 \ln(n)$

E_{\max} (za neohranjen razpored) = $\ln(n^2+n) - \ln(2)$

n = število kategorij celic (= rab tal)

P_{ij} = število stičnih robov, ki si jih delita razreda rabe tal i in j

Kazalec združenosti - Contagion Indeks (C) - izraža stopnjo, do katere so rabe tal združene (ali razpršene). Nizke vrednosti nakazujejo več manjših, razpršenih zaplat, višje vrednosti pa nakazujejo manj večjih in bolj povezanih zaplat. Rezultat je lahko številčen oziroma v %.

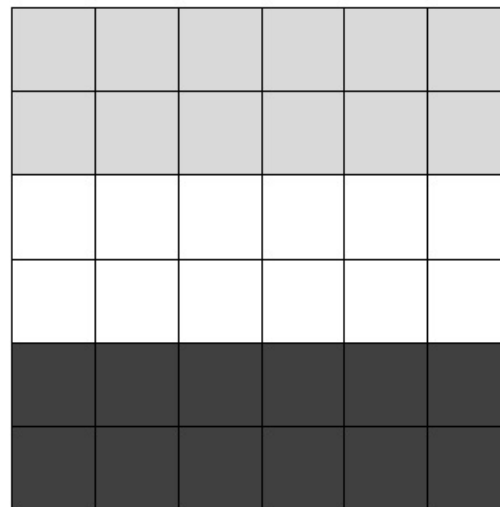


Fig. 2: Same model with resolution 12 x 12 cells (a) and resolution 6 x 6 cells (b)

Ocenjevanje težnje k združevanju je sicer popularno v krajinsko-ekoloških raziskavah, vendar je zaradi različnih spremenljivk, ki vplivajo na ta kazalec, potrebna previdnost (prim. Riitters in sod., 1996), ko se odločimo zanj; v nadaljevanju bomo na ključne težave tudi opozorili.

Združenost temelji na razmerju med robovi (ali robnimi pari) slikovnih elementov, ki ponazarjajo npr. različne kategorije rabe tal. Zato se ta indeks spreminja, če je ločljivost enake slike različna. Tako na sliki 2 predstavljamo enak teoretični primer, a z različno ločljivostjo.

Hkrati se izračun kazalca združenosti spreminja tudi, če »štejemo« medsosedska razmerja na tri možne načine, ki jih podajamo v nadaljevanju (model 3 a,b,c, prirejeno po Riitters in sod., 1996). Prav tako pa vpliva na izračun število kategorij rabe tal.

Model 3a: štejejo vsak slikovni par enkrat in ohranimo njun razpored (npr. beli polji navzdol in desno od sivega polja B mu pripadata, navzgor in levo pa pripadata že drugemu sivemu polju, vsakemu sivemu polju torej pripadata dve beli polji)

Model 3b: štejejo vsak slikovni par enkrat, ne glede na razpored (trem sivim poljem pripada osem belih polj, npr. polju B 4 bela polja)

Model 3c: štejejo vsak slikovni par dvakrat (v bistvu tu štejejo število robov z »obeh strani«; npr. siva-bela in belo-siva. Razpored je ohranjen. Zaradi dvojnega štetja oziroma ponavljanja moramo šteti dvojno

tudi število celic, saj vsakemu sivemu polju pripadajo štiri bela polja, belemu polju pa tudi siva polja in jih zato štejejo dvojno).

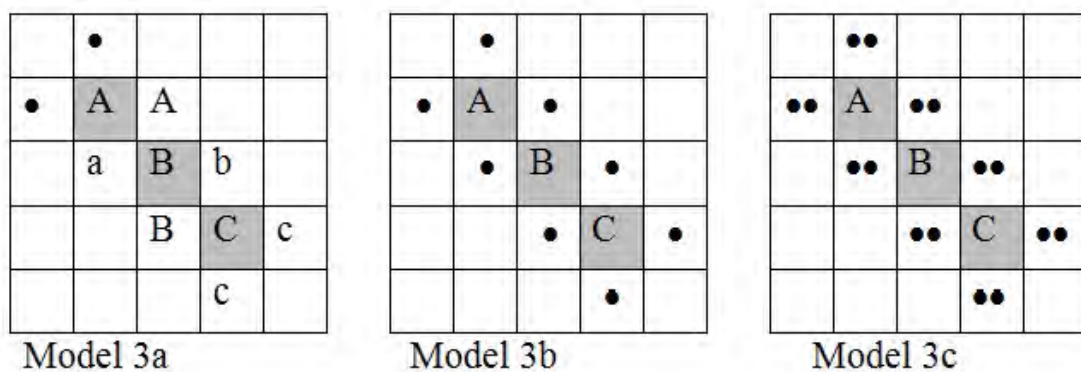
Program Fragstats 4.2 računa po modelu 3c.

V zgoraj navedenem teoretičnem primeru tako lahko dobimo šest možnih rešitev glede na ločljivost in izbrani model (preglednica 1).

2.4 Testni področji

2.4 Test areas

Kot zadnji dejavnik smo želeli preveriti izbrane kazalce v različnih krajinskih tipih in v različnih časovnih obdobjih. Kot primer gozdne krajine smo izbrali Kočevsko, omejili smo jo z mejo nekdanje Kočevske, to smo povzeli po Ciglerju (1979). Najnovejšo masko rabe tal smo povzeli po podatkih MKGP (2015). Kot najstarejšo znano izhodišče za karto rabe tal pa smo privzeli Jožefinski vojaški zemljevid (Rajšp 1995), ki smo ga digitalizirali sami in karto potem rasterizirali v ločljivosti 25 m. Za primer kmetijske krajine, docela različne od Kočevske, smo vzeli Slovensko Istro (občine Koper, Ankaran, Izola, Piran). Površina nekdanje Kočevske znaša 787,07 km², površina Slovenske Istre pa 343,67 km². Podatek o površini obravnavanega območja je pomemben zato, ker smo pri uporabi programa Fragstats omejeni s količino podatkov; z izboljšanjem ločljivosti narašča potreba po količini RAM, tako da je velikost prostora v povezavi z ločljivostjo rastrske karte glavna omejitev. V našem primeru smo tako s programom Fra-



Slika 3: Trije modeli računanja indeksa združevanja

Fig. 3: Three models for the Contagion Index calculation

Preglednica 1: Primer različnih rezultatov izračuna indeksa združljivosti ob različni ločljivosti in vrsti izbranega modela

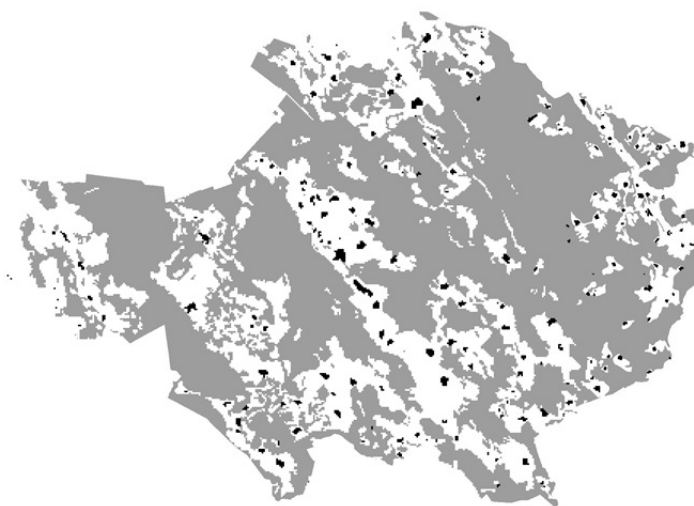
Table 1: An example of different results for Contagion Index calculation according to different resolution and calculation model

| Kazalec združenosti <i>Contagion Index</i> | Slika 2a, ločljivost 12 x 12 <i>Figure 2a, resolution 12 x 12</i> | Slika 2b, ločljivost 6 x 6 <i>Figure 2b, resolution 6 x 6</i> |
|---|--|--|
| Model 3a | 37,82 % | 30,90 % |
| Model 3b | 23,74 % | 15,30 % |
| Model 3c | 35,08 % | 25,01 % |



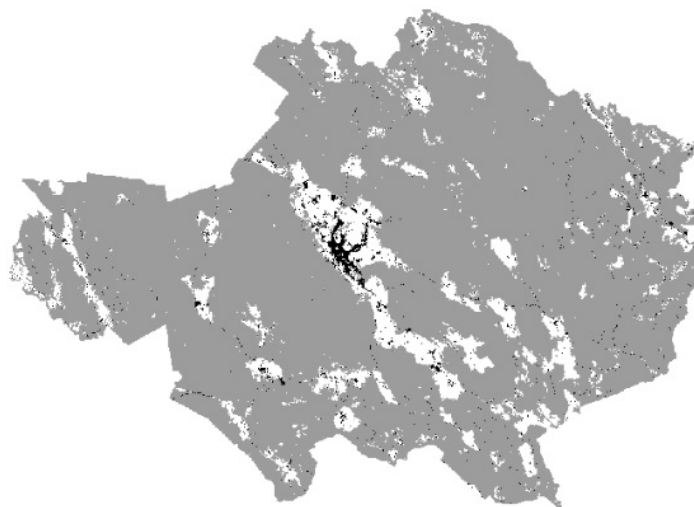
Slika 4: Slovenija s Slovensko Istro (svetlo siva) in nekdanjo Kočevsko (temno siva)

Fig. 4: Slovenia with Slovenska Istra (light grey) and the former Kočevsko (dark grey)



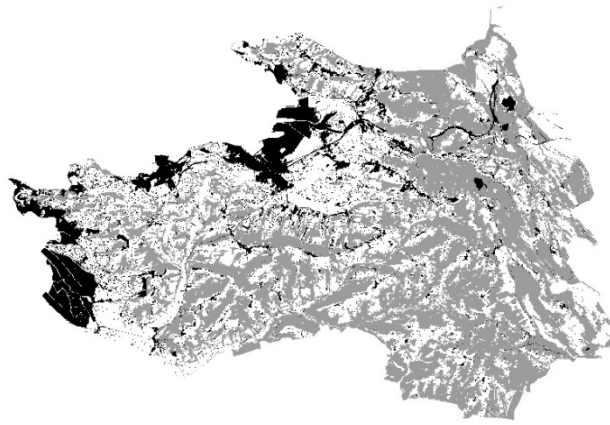
Slika 5: Poenostavljena karta Kočevske v 18. stoletju (sivo – gozd, belo – kmetijska in druga raba, črno – naselja)

Fig. 5: Simplified map of Kočevsko in the 18th century (grey – forest, white – agricultural and other land use, black – settlements)



Slika 6: Poenostavljena karta Kočevske v 21. stoletju (sivo – gozd, belo – kmetijska in druga raba, črno – naselja)

Fig. 6: Simplified map of Kočevsko in the 21st century (grey – forest, white – agricultural and other land use, black – settlements)



Slika 7: Poenostavljena karta Slovenske Istre v 21. stoletju (sivo – gozd, belo – kmetijska in druga raba, črno – naselja)

Fig. 7: Simplified map of Slovenska Istra in the 21st century (grey – forest, white – agricultural and other land use, black – settlements)

gststs 4.2 v okolju Windows celotno Kočevsko še lahko obdelali pri ločljivosti 5m, ne pa več pri ločljivosti 2m.

3 REZULTATI

3 RESULTS

Najprej smo primerjali spremembe najnovejše mase rabe tal za Kočevsko z ločljivostjo 5 m in 25 m, obe pa tudi po pravilu »4 x 4« in »8 x 8«, potem smo primerjali najnovejšo karto Kočevske z nekdanjo karto po Jožefinskem vojaškem zemljevidu, razumljivo le v resoluciji 25 m. Zadnjo primerjavo pa smo napravili z najnovejšo karto rabe tal Kočevske ter karto rabe tal Istre, obe v ločljivosti 5 m.

Preglednica 2: Primerjava izbranih krajinsko-ekoloških kazalcev za Kočevsko (21. stoletje) po pravilu 4x4 in 8x8 ter s 25 in 5-metrsko ločljivostjo

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

Primerjava posameznih kazalcev omogoča naslednje zaključke:

Samo nekateri najbolj osnovni kazalci **površin** so robustni tako glede na spremembe pravila kot ločljivosti (CA, PLAND). Kazalec največje zaplate (LPI), tehtana povprečna sredina gozdnih zaplat (AREA_AM) in tehtana razdalja, kako daleč v prostor segajo zaplate (GYRATE_AM), se nekoliko spremenijo že pri spremembi pravila, še mnogo bolj pa s spremembo ločljivosti, kar je razumljivo, saj se ob manj podrobni ločljivosti bližnje večje zaplate združujejo, manjše pa izginjajo, zato so

Table 2: A comparison of selected landscape ecological indices for Kočevsko (21st century) according to the Rule 4x4 and 8x8, with 25 m and 5 m resolutions

| Krajinsko ekološki kazalci <i>Landscape ecological indices</i> Površina <i>Area</i> | 21. stoletje <i>21st century</i> pravilo 4x4 <i>Rule 4x4</i> ločljivost 25 m <i>resolution 25 m</i> | 21. stoletje <i>21st century</i> pravilo 4x4 <i>Rule 4x4</i> ločljivost 5 m <i>resolution 5 m</i> | 21. stoletje <i>21st century</i> pravilo 8x8 <i>Rule 8x8</i> ločljivost 25 m <i>resolution 25 m</i> | 21. stoletje <i>21st century</i> pravilo 8x8 <i>Rule 8x8</i> ločljivost 5 m <i>resolution 5 m</i> |
|--|---|---|---|---|
| CA (ha) | 68284.94 | 68283.29 | 68284.94 | 68283.29 |
| PLAND (%) | 86.79 | 86.78 | 86.79 | 86.78 |
| LPI (%) | 86.46 | 39.15 | 86.59 | 46.91 |
| AREA_AM (ha) | 67766.69 | 17244.41 | 67971.68 | 27398.27 |
| GYRATE_AM (km) | 11.306 | 5.073 | 11.323 | 6.736 |
| Jedra / Core | | | | |
| TCA (ha) | 35949.94 | 34584.79 | 35950.56 | 34584.80 |
| CPLAND (%) | 45.69 | 43.96 | 45.49 | 43.95 |
| DCAD (št. / 100 ha) | 0.27 | 0.26 | 0.19 | 0.19 |
| CORE_AM (ha) | 35813.25 | 9285.34 | 35868.00 | 14118.12 |
| DCORE_AM (ha) | 6124.70 | 5985.08 | 6125.19 | 5985.09 |
| CAI (%) | 52.65 | 50.65 | 52.65 | 50.65 |
| Težnja k združenju / Aggregation | | | | |
| PD (št. / 100 ha) | 28.86 | 73.54 | 20.16 | 32.34 |
| CONTAGION (%) | 86.03 | 88.42 | - | - |
| PPU | 0.29 | 0.74 | 0.20 | 0.32 |

Preglednica 3: Primerjava izbranih krajinsko-ekoloških kazalcev za Kočevsko v 18. in 21. stoletju po pravilu 8x8 ter s 25-metrsko ločljivostjo

| Krajinsko-ekološki kazalci <i>Landscape ecological indices</i> | 18. stoletje <i>18th century</i> | 21. stoletje <i>21st century</i> |
|---|--|--|
| CA (ha) | 42848.69 | 68284.94 |
| PLAND (%) | 54.45 | 86.79 |
| LPI (%) | 25.58 | 86.59 |
| AREA_AM (ha) | 14366.06 | 67971.68 |
| GYRATE_AM (km) | 5.681 | 11.323 |
| TCA (ha) | 21529.50 | 35950.56 |
| CPLAND (%) | 27.36 | 45.49 |
| DCAD (št. / 100 ha) | 0.11 | 0.19 |
| CORE_AM (ha) | 8243.62 | 35868.00 |
| DCORE_AM (ha) | 7293.98 | 6125.19 |
| CAI (%) | 50.25 | 52.65 |
| PD (št. / 100 ha) | 0.94 | 20.16 |
| PPU | 0.01 | 0.20 |
| CONTAGION (4 x 4) | 64.03 | 86.03 |

Opomba: Kazalec združenosti (*Contagion Indeks*) je prikazan le zaradi teoretične primerjave, saj teh dveh kart v osnovni obliki za izračun rabe tal ni mogoče primerjati; moderna Kočevska ima bistveno več kategorij rabe tal kot Jožefinski vojaški zemljevid.

Table 3: A comparison of selected landscape ecological indices for Kočevsko (18th century, 21st century) according to the Rule 4x4 and 8x8, with 25 m and 5 m resolutions**Preglednica 4:** Primerjava izbranih krajinsko-ekoloških kazalcev za Kočevsko in Slovensko Istro v 21. stoletju, po pravilu 8x8 ter s 5-metrsko ločljivostjo

| Krajinsko-ekološki kazalci <i>Landscape ecological indices</i> | Kočevska, 21. stoletje <i>Kočevsko, 21st century</i> | Slovenska Istra, 21. stoletje <i>Slovenska Istra, 21st century</i> |
|---|--|--|
| CA (ha) | 68283.29 | 14899.64 |
| PLAND (%) | 86.78 | 43.41 |
| LPI (%) | 46.91 | 0.25 |
| AREA_AM (ha) | 27398.27 | 6.39 |
| GYRATE_AM (km) | 6.736 | 0.634 |
| TCA (ha) | 34584.80 | 0 |
| CPLAND (%) | 43.95 | 0 |
| DCAD (št. / 100 ha) | 0.19 | 0 |
| CORE_AM (ha) | 14118.12 | 0 |
| DCORE_AM (ha) | 5985.09 | 0 |
| CAI (%) | 50.65 | 0 |
| PD (št. / 100 ha) | 32.34 | 3240.64 |
| PPU | 0.32 | 32.41 |
| CONTAGION (4 x 4) | 88.42 | 44.82 |

Table 4: A comparison of selected landscape ecological indices for Kočevsko and Slovenska Istra (21st century) according to the Rule 8x8, with 5 m resolution

vrednosti ob 25-metrski ločljivosti pri vseh treh kazalnikih bistveno večje kot pri 5-metrski ločljivosti.

Tako se pokaže, da sta ocena površin bodisi v absolutnih vrednostih ali v odstotkih še vedno najbolj povedna in za razumevanje enostavna ter stabilna kazalnika.

Kazalci, s katerimi ocenjujemo **jedrne cone**, so najprej vezani na odločitev, kako daleč od roba se jedro začne. Do sprememb ob različni ločljivosti in pravilu sicer prihaja, vendar so razlike primerljivo manjše kot pri kazalcih površin, to pa je bilo v našem primeru tudi zato, ker smo z globino 300 m daleč od roba in tako manj vezani na navidezna združevanja zaplat na robu ob spremembi ločljivosti ali pravila. Klub vsemu spre-

membra pravila močneje zaznamuje rezultate kot sprememba ločljivosti.

Tretjo skupino sestavljajo kazalniki, s katerimi ocenjujemo **težnjo k združevanju**.

Načelno na kazalec PPU ne vpliva sprememba ločljivosti, saj se spremenljivki v imenovalcu med seboj izravnata, pač pa vpliva na izračun število zaplat, ta pa se spreminja z ločljivostjo, saj se ob nižji ločljivosti manjše zaplate »utaplajo« v večjih. Kazalec se spreminja podobno kot kazalec gostote zaplat (PD), zato se podatek o gostoti zaplat lahko smiselno nadomesti.

Kljub razmeroma stabilnim rezultatom (v našem primeru) kazalnika združenosti (CONTAGION) velja, da je pri odločitvi zanj potreben premislek, saj je izra-

čun vezan kar na tri spremenljivke (ločljivost, model in število rab), na kar opozarjata tudi Frohn (1997) in Riiters s sodelavci (1996).

Kaj svetujemo? Če želimo izdelati časovno serijo površinskih in prostorskih sprememb gozdnih zaplat, seveda primerjava z Jožefinskim vojaškim zemljevidom ni edina možnost, še mnogo več vsebin nam ponujajo karte franciscejskega katastra. Poleg tega pa naj opozorimo, da imamo v Sloveniji na voljo primerljivo dovolj natančnih podatkov (25-metrski ločljivost) o gozdni maski za leto 1975 in tako lahko napravimo oceno krčitev, fragmentacije in zaraščanja za zadnjih 40 let (prim. Pirnat in Kobler, 2014) oziroma oceno različnih kazalcev krajinske zgradbe. Seveda pa so te primerjave smiselne v večjem merilu in za zaokroženo rabo tal. Kot že rečeno, zaradi resolucije 25 m (v primeru starih Landsatovih podatkov pa celo 30 m) ne bo mogoče primerjati ozkih in površinsko majhnih zaplat.

Ko pa primerjamo moderni karti rabe iz dveh krajinskih delov Slovenije, pomisleka glede ločljivosti ni, razen če bi nas omejilo preveliko izbrano področje. V takem primeru predlagamo največjo možno ločljivost, pravilo 8x8 ter naslednje kazalce:

- Za oceno površin (CA, PLAND, AREA_AM), če imamo zaplate, ki so zelo razpotegnjene oblike, je poleg tega zelo primeren kazalnik GYRATE, ki bo močno upadel ob fragmentaciji gozda. To ugotovitev velja imeti v mislih, kadar bi se odločali o tem, ali upoštevamo ali zanemarimo npr. vpliv gozdnih cest na masko gozda oziroma na izračun fragmentacije gozda. Podobno velja tudi za druge prostorske analize, kjer so morada pomembni podatki število ali dolžina omejkov, ali (ne)upoštevanje vodotokov. Prav tako je pomembna odločitev, kaj storiti z majhnimi zaplatami, ki so lahko celo manjše od praga kartiranja, bodisi da gre za gozdne rudimente v kmetijski krajini bodisi posamezne stavbe v gozdu. Bralec oziroma raziskovalec mora tako najprej postaviti smiseln velikostni prag krajinskih gradnikov, ki jih v danih razmerah potrebuje, preden izpelje zgoraj navedene prostorske analize in primerjave.
- Za oceno jedrnih con priporočamo vse kazalnike, ker pa so si na neki način podobni, lahko uporabimo enega s površino in enega s %, še posebej uporaben pa se nam zdi kazalnik DCAD, ki poleg tega prinaša še podatek o številu jedrnih con na enoto površine.
- Za oceno združevanja je najbolj primeren kazalec gostote zaplat (PD), saj prinaša število zaplat na enoto površine in omogoča hiter pregled tako med krajina-mi kot časovnimi serijami, hkrati pa zaradi podobnosti nadomešča Frohnov PPU.

Verjamemo, da lahko s pravilno zasnovano raziskavo in primerno izbranimi krajinskimi kazalci pripomoremo k hitremu spremljanju sprememb absolutnih površin kot tudi sprememb razporeda t.i. jedrnih con ter tako prispevamo k ovrednotenju pestrostne funkcije gozdov ter oceni stanja posameznih gozdnih habitatih tipov.

5 SUMMARY

In landscape ecological studies, landscape structure is usually at the centre of attention, often as a foundation of evaluating and spatially determining the diversity function of a forest. In the present research, we developed an overview of indices that can be calculated with the Fragstats 4.2 programme, showing which of them are the most suitable based on our wishes in a certain area, what are their limits and what the user must pay special attention to. Following the preliminary selection, we excluded the indices assessed by the mentioned researchers as less reliable or insufficiently explicit, as well as indices that emerge in abstract numerical values with no units of measurement. The Fragstats programme can evaluate the following groups of spatial indices: Area and Edge, Shape, Core, Contrast, Aggregation and Diversity. As the programme essentially calculates patterns and relations between neighbouring raster cells, the user must first decide, which of the two "Rules" they will use. According to the Rule "4x4", the programme recognizes cells as parts of the same patch if their edges connect to each other, while a diagonal connection represents a break and the beginning of another patch. According to the Rule "8x8", on the other hand, the programme recognizes both diagonal and border connection as cells of the same patch. In the landscape ecological studies of the diversity function of forests, the "8x8" model is typically considered more suitable as even in the case point connection, passing through the patches of the same class requires to overcome only a minimal distance. For this reason, our first step was to determine which landscape indices are susceptible to the selection of the rule.

The next important step is the decision on the resolution of the raster map. Naturally, higher resolution offers much more useful results, however, in the case of large areas, we are limited by the computer and programme capacity. In addition, the comparison of maps from various past periods requires the use of the lowest resolution, as some of the older maps are not available in any other. Consequently, our next goal was to establish which landscape indices are more sensitive to resolution change. For this purpose we compared two equivalent maps of ground usage in terms of con-

tent, once in the picture cell resolution of 5 m and once in the picture cell resolution of 25 m.

Next, it has to be decided how deep inside the forest extends the reach of the forest edge and where do the cores of the inner environment known as core areas begin. There is no uniform answer; the decision depends on the appearance or ecology of species we are studying. For the purpose of our research, we decided on the distance of 300 m based on the assessments of valid sources.

Our selected study area included Kočevje as an example of forest landscape and Slovenska Istra as an example of rural and urban landscape. For the most up-to-date information on current ground usage, we applied the data provided by the Ministry of Agriculture, while for the oldest recorded basis of a ground usage map we adopted military maps of the Austrian Emperor Joseph II, designed between 1763 and 1787, which we also digitalized and then rasterized the digitalized map in the resolution of 25 m.

The comparisons between the selected landscapes have shown that the basic surface indices CA and PLAND are the most suitable, while for more demanding purposes, AREA_AM and GYRATE_AM can be used as well. For the evaluation of core areas, basic indices proved to be the most suitable, too, specifically TCA and CPLAND. Other important indices were the index of the number of core areas per surface unit DCAD and indices CORE_AM and DCORE_AM for a more detailed spatial evaluation of core areas, whereas for the evaluation of aggregation tendency, the most useful proved to be the patch density index PD.

6 VIRI

6 REFERENCES

- Ayad, Y., Assessment of Landscape Ecological Metrics; Shape Complexity and fragmentation of the Abandoned Strip Mine Patches in Toby Creek Watershed. <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/papers/pap1207.pdf> (19.3.2015).
- Baker, W. L., and Y. Cai. 1992. The r.le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. *Landscape Ecology* 7: 291-302.
- Bentrop, G., 2008. *Conservation buffers: design guidelines for buffers, corridors, and greenways*. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC.
- Ciglar, M., 1979. Raziskave o posledicah izpraznitve gozdnate kulturne krajine, prikazane na primeru Kočevske. Ljubljana, Strokovna in znanstvena dela 64, 162 s.
- Environment Canada, 2013. How much habitat is enough? Environment Canada, Toronto, Ontario.
- Forman, R.T.T, 1995. *Land mosaics*. Cambridge University Press. Cambridge, 632 p.
- Frohn, R.C., 1997. *Remote Sensing for Landscape Ecology*. CRC Press, Washington, s. 9-33.
- Golob, A. 2006. Izhodišča za monitoring ohranjenosti gozdnih habitatnih tipov in habitatov vrst na območjih NATURA 2000 v Sloveniji. V: Hladnik D., (ur.). *Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino*. Strokovna in znanstvena dela 127, UI, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana.
- Iverson, L. R., 1989. Land use changes in Illinois, USA: the influence of landscape attributes on current and historic land use. *Landscape Ecology* 2: 45-61.
- Jaeger, J.A.G., 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15: 115-130.
- Kienast, F., 1993: Analysis of historic landscape patterns with a Geographical Information system - a methodological outline. *Landscape Ecology*, 8(2): 103-118.
- Leitao, A.B., Miller, J., Ahern, J., McGarigal, K., 2006. *Measuring Landscapes. A Planner's Handbook*. Island Press, Washington, 245 s.
- McGarigal, K., SA Cushman, S. A., E Ene, E., 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- McGarigal, K., *Landscape Metrics for Categorical Map Patterns*. http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf (4. maj 2015)
- Neel, M.C., McGarigal, K., Cushman, S.A. 2004. Behaviour of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. *Landscape Ecology*, 19: 435-455.
- Pirnat, J., Kobler, A., 2014. Stabilnost gozdnih površin v Sloveniji kot kriterij krajinske pestrosti in obstojnosti. *Acta Silvae et Ligni* 104: 35-42.
- Rajšp, V., 1995. Rajšp, V., 1995. Slovenija na vojaškem zemljevidu 1763 – 1787. SAZU in Arhiv R. Slovenije, Ljubljana
- Riitters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Wickham, J.D., D.H. Yankee, D.H., Timmins, S.P., Jones, K.B., S., Jackson, B.L., 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 10(1): 23-39.
- Ritters, K. H., O'Neill, R.V., Wickham, J.D., Jones, K.B., 1996. A note on contagion indices for landscape analysis. *Landscape Ecology*, 11:197-202.
- Rutledge, D., 2003. Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? *Doc Science International Series* 98. Department of Conservation, Wellington, New Zealand, 27 p.
- Schumaker, N. H., 1996. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology* 77:1210-25.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., Merriam, G., 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 73:43-48.