

KVANTITATIVNA ANALIZA HORIZONTALNE STRUKTURE KRAJOBRAZA –
PARK PRIRODE VRANSKO JEZERO

Ante ŠILJEG

Sveučilište u Zadru, Odjel za Geografiju, Franje Tuđmana 24i, 23000 Zadar, Hrvatska
e-mail: asiljeg@unizd.hr

Sanja LOZIĆ

Centar za Vozila Hrvatske, Capraška 6, 10000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: sanja.lozic@zg.t-com.hr

Ivan MARIĆ

Sveučilište u Zadru, Odjel za Geografiju, Franje Tuđmana 24i, 23000 Zadar, Hrvatska
e-mail: imaric1@unizd.hr

IZVLEČEK

Raziskava temelji na analizi osnovnih značilnosti horizontalne strukture krajine PP Vransko jezero. Krajina je predstavljena s prvinami (rastišči) in razredi. Strukturno krajine smo analizirali s pomočjo meril za strukturo prostora na ravni prvine in razreda. Analizirali smo skupino krajinskih indikatorjev, ki se nahajajo v okvirjih krajinske metrike, ter so lahko relevantni in koristni pri izboljšanju krajinskega načrtovanja. Z GIS analizo geostatističnih vrednosti smo dokazali, da pospešen antropogeni vpliv lahko vpliva na spremembe značilnosti horizontalne strukture prvin in razredov. Z analizo statističnih kazateljev, izpeljanih iz 11 indikatorjev krajinske strukture, smo ugotovili dominantne in ogrožene tipe razredov znotraj krajine. V prispevku smo potrdili hipotezo, da je z uporabo ustreznih krajinskih indikatorjev možno natančno določanje konfiguracije in kompozicije znotraj krajine.

Ključne besede: krajina, krajinska metrika, krajinski indikatorji, prвина, razred, GIS, Park prirode Vransko jezero

ANALISI QUANTITATIVA DELLA STRUTTURA ORIZZONTALE DEL PAESAGGIO – PARCO
NATURALE VRANSKO JEZERO

SINTESI

La ricerca si basa sull'analisi delle caratteristiche fondamentali della struttura orizzontale del paesaggio del Parco naturale Vransko jezero. Il paesaggio è rappresentato dagli elementi (gli habitat) e dalle classi. La struttura del paesaggio viene analizzata tramite le misure della struttura spaziale a livello dell'elemento e della classe. È stato analizzato un insieme degli indicatori paesaggistici contenuti nell'ambito dello *landscape metric* che possono essere rilevanti e utili nel miglioramento della pianificazione del paesaggio. Le analisi dei valori statistici hanno dimostrato che l'influsso antropologico rafforzato può influire sui cambiamenti delle caratteristiche della struttura degli elementi e delle classi. Le analisi degli indicatori statistici derivati da 11 indicatori della struttura paesaggistica hanno rilevato i tipi dominanti ed a rischio di estinzione delle classi nell'ambito del paesaggio. Nell'articolo è stata confermata l'ipotesi secondo la quale, applicando adatti indicatori paesaggistici, risulta possibile determinare in modo preciso la configurazione e la composizione all'interno del paesaggio.

Parole chiave: paesaggio, *landscape metric*, indicatori paesaggistici, elemento, classe, GIS, Parco naturale Vransko jezero

UVOD

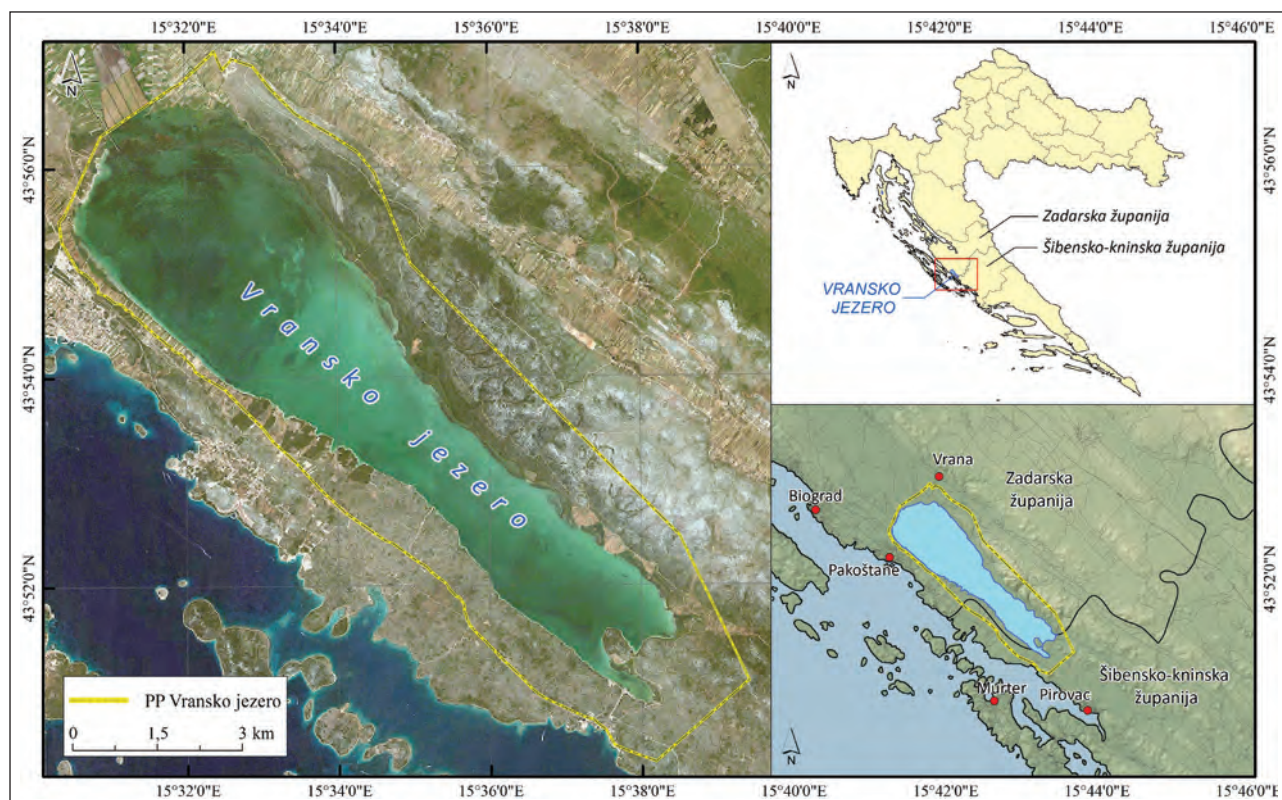
Krški sustavi su iznimno osjetljivi i podložni svim vrstama vanjskih poremećaja koji izazivaju nepovratne promjene i gubitak bioraznolikosti (Ford, William, 2007). S obzirom na unutrašnje abiotičke i biotičke različitosti, jadransko krško područje kao dio dinarskog i sredozemnog krša (Woodward, 2009) predstavlja mozaik različitih krajobrazova. Dio tog područja je PP Vransko jezero, specifičan heterogeni krajobraz koji zahtjeva optimalno upravljanje. To je najveće jezero i jedno od najvrijednijih močvarnih staništa u Hrvatskoj (Slika 1). Zbog svojih osebnih prirodnih vrijednosti Vransko jezero je 8. srpnja 1999. godine proglašeno parkom prirode.

Optimalno upravljanje tim područjem je jedan od glavnih zadataka upravitelja, ali i znanstvenika koji posljednjih 20-ak godina pomažu u segmentu razvijanja snažne konceptualne i teoretske osnove za razumijevanje struktura, funkcija i promjena krajobrazova (McGarigal, Marks, 1995).

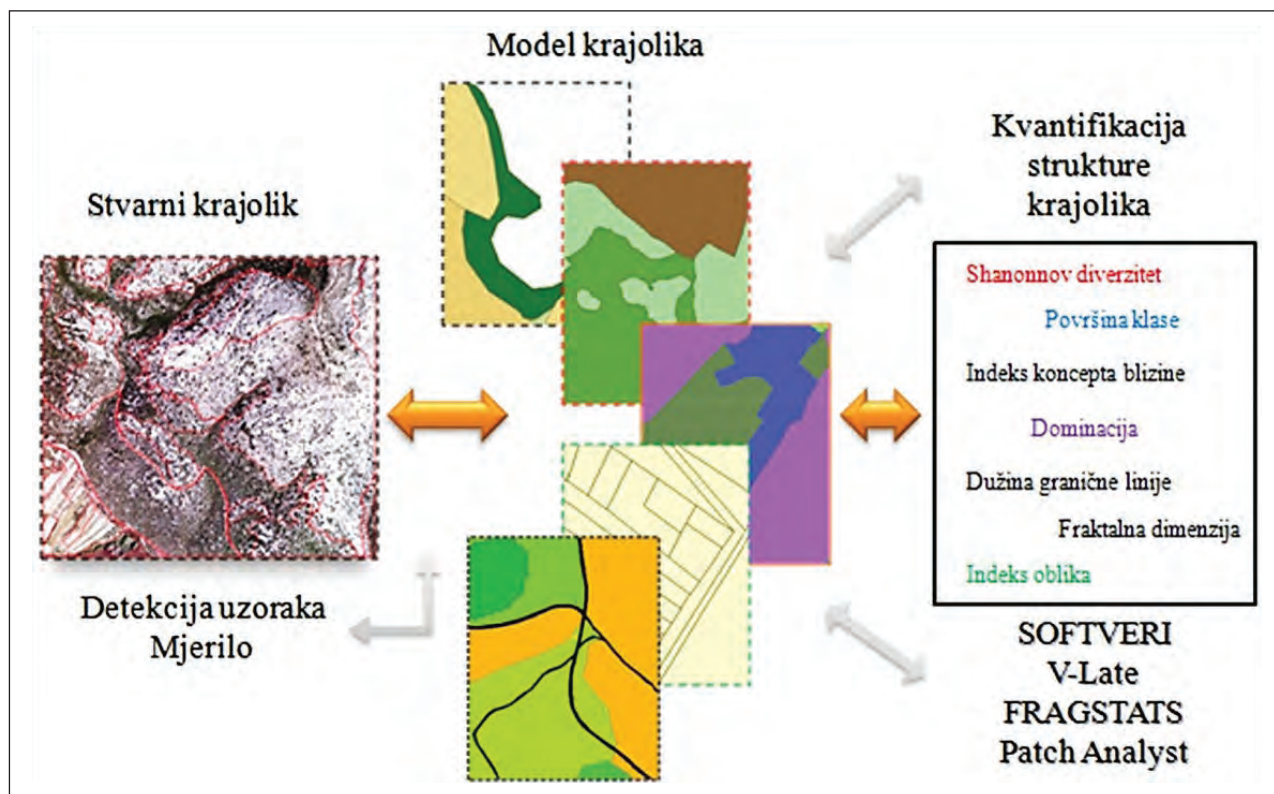
Krajobraz se najčešće poistovjećuje s određenim prostorom na Zemlji koji je sastavljen od mnoštva složenih dijelova koji se mogu analizirati i prikazati pomoću različitih metoda te proučavati iz više perspektiva (Gardner *et al.*, 1987; Turner, 1989; Legendre, Fortin, 1989; McGarigal, Marks, 1995; Forman, 1995; Haines-Young,

Chopping, 1996; Gustafson, 1998; Turner *et al.*, 2001; McGarigal *et al.*, 2002; Wu, Hobbs, 2007; Cushman *et al.*, 2008). Forman i Gordon (1986) definiraju krajobraz kao heterogenu površinu koja se sastoji od interaktivnog skupa koji se ponavlja u sličnom obliku. Definicije krajobrazova se razlikuju, ovisno o znanstvenoj disciplini koja ga proučava (McGarigal, Marks, 1995). Neki autori predlažu, kao najprikladniji način, da se krajobraz definira ovisno o vrsti istraživanja i primijenjenim metodama (De Groot, Van der Born, 2003).

U znanstvenom procesu proučavanja krajobrazova značajnu ulogu imaju različite metode istraživanja (Legendre, Fortin, 1989; Turner, 1990; Langran, 1992; Christakos, 2002; Burnett, Blasche, 2003; Robertson *et al.*, 2007). Danas su one najčešće popraćene tehničkim (softverskim) rješenjima (Slika 2) unutar kojih su implementirane različite metode kvantifikacije strukture krajobrazova. Tijekom posljednja dva desetljeća došlo je do široke primjene statističkih i GIS metoda (integriranih unutar različitih softvera) u analizama strukture krajobrazova (Turner, Ruscher, 1988; Turner, 1990, Gustafson, Parker, 1992; Baker, Cai, 1992; Elkie *et al.*, 1999; McGarigal, Marks, 1995; McGarigal *et al.*, 2002). Primjena različitih metoda mjerenja krajobraznih struktura omogućuje dobivanje velikog broja podataka, međutim postala je i izvor zabuna u njihovom korištenju.



Slika 1: Prostorni obuhvat istraživanja – PP Vransko jezero



Slika 2: Shema procesa analize uzoraka krajolika

Relevantna istraživanja najčešće se fokusiraju na strukturne analize elemenata krajobraza (*patches*), prostorno usklađenim površinama s istim značajkama koje opisuju i predstavljaju krajobraz. Oni se u literaturi različito nazivaju: element, sastavnica, stanište, biotop, ekotop, geotop, jedinica, ćelija itd. U istraživanjima elemenata krajobraza često se koriste hijerarhijski pristupi klasifikaciji (Zonneveld, 1989; Wu, 1999). Mjerenjem i opažanjem, na temelju prethodno odabranih kriterija, moguće je izdvojiti, u većoj ili manjoj mjeri (ovisno o mjerilu), homogene ili heterogene elemente krajobraza.

Kvantifikacija prostornih uzoraka, njihova dinamika i područje utjecaja, predmet su proučavanja krajobrazne analize (McGarigal *et al.*, 2002) koja se temelji na površinskim uzorcima (*surface patterns*). Krajobraz se proučava kroz tri karakteristične razine: strukturu (kompozicija i konfiguracija), funkciju i promjenu krajobraza (Forman, Gordon, 1986; McGarigal, Marks, 1995).

U istraživanju prednost je data determinaciji strukture krajobraza koja je analizirana pomoću krajobraznih indikatora na razini elementa (osnovne jedinice krajobraza) i klase. Analiza je poslužila kao osnova za interpretaciju i prikaz horizontalne strukture krajobraza. Odabrani indikatori predstavljaju temeljne parametre pomoću kojih se može definirati unutarnja struktura krajobraza, dominacija i međusobni odnosi.

Ne postoji apsolutna veličina (jedinstveno mjerilo) za prikaz krajobraza; ona se mijenja ovisno o području istraživanja, znanstvenoj disciplini, istraživačevoj subjektivnoj percepciji itd. Zbog lakšeg shvaćanja, analize i interpretacije, krajobraz se najčešće prikazuje modelom (Malczewski, 1999; Burnett, Blaschke, 2003) tj. pojednostavljenim prikazom zemljine površine (Wu, Marceau, 2002), koji reprezentira kompleksnost krajobraza (Cracknell, 1998). Model može biti vektorski i rasterski, a njime se mogu prikazati sve vrste podataka.

U ovom istraživanju provedena je analiza horizontalne strukture krajobraza s geografskog aspekta, na razini elementa i klase. Staništa reprezentiraju krajobraz i analizirana su pomoću krajobraznih indikatora. Postoji stotinjak krajobraznih indikatora koje se mogu definirati kao kvantitativni indeksi (algoritmi) koji omogućuju definiranje strukture i kategoričko prikazivanje krajobraza (McGarigal, Marks, 1995; O'Neill *et al.*, 1988; McGarigal *et al.*, 2002). Odnose se na topografska mjerenja kojima se pobliže opisuju obilježja uzoraka (Iampietro *et al.*, 2005; Vivoni *et al.*, 2005). U literaturi se često poistovjećuju tri termina vezana za analizu krajobraznih uzoraka: metrika, indikatori i indeksi (Ueema, 2009). U ovom istraživanju koristit će se termin krajobrazni indikatori. Većina indikatora osjetljiva je na promjene prostorne rezolucije (*grain*

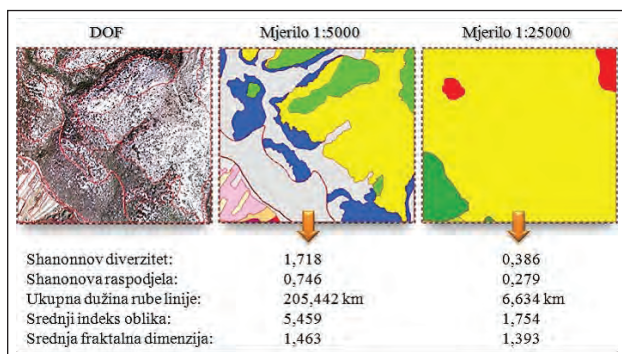
Tablica 1: Kategorije staništa

Br.	NKS kod	NKS opis
1	A.1.2.1./A.4.1.1.	Povremene stajačice / Tršćaci i rogozici
2	A.1.3.1.1.	Neobrasle i slabo obrasle obale stajačica
3	A.2.4.	Kanali
4	A.4.1.1.	Tršćaci i rogozici
5	B.1.	Neobrasle i slabo obrasle stijene
6	B.1./E.8.1.	Neobrasle i slabo obrasle stijene / Mješovite, rjeđe čiste vazdazelene šume i makija crnike ili oštrike
7	B.1.4.	Tirensko-jadranske vapnenačke stijene
8	C.2.5.1.	Ilirsko-submediteranske livade rječnih dolina
9	C.2.5.1./F.1.1.2	Ilirsko-submediteranske livade rječnih dolina / Sredozemne sitine visokih sitova
10	C.3.5.1./D.3.1.1	Istočnojadranski kamenjarski pašnjaci submediteranske zone / Dračici
11	C.3.5.1./D.3.4.2	Istočnojadranski kamenjarski pašnjaci submediteranske zone / Istočnojadranski bušici
12	D.3.1.1.	Dračici
13	D.3.1.1./D.3.2.1.	Dračici / Termofilne poplavne šikare
14	D.3.2.1.	Termofilne poplavne šikare
15	D.3.4.2.	Istočnojadranski bušici
16	E.8.1.	Mješovite, rjeđe čiste vazdazelene šume i makija crnike ili oštrike
17	E.8.1./B.1.	Mješovite, rjeđe čiste vazdazelene šume i makija crnike ili oštrike / Neobrasle i slabo obrasle stijene
18	E.8.2.10.	Šume i nasadi pinije (<i>Pinus pinea</i>) i primorskoga bora (<i>Pinus pinaster</i>)
19	E.8.2.9.	Šuma alepskog bora s tršljom
20	E.9.2.4.	Nasadi alepskog bora
21	I.2.1.1.2.	Mozaik složene strukture usjeva
22	I.3.1.1.1./I.1.6.1./I.1.2.1.	Intenzivne komasirane oranice s usjevima monokultura (kulture vlatastih žitarica) / Korovi strnih žitarica / Okopavinski korovi primorskih krajeva
23	I.5.2.1.1.	Tradicionalni maslinici
24	I.5.2.2.1.	Intenzivni maslinici
25	I.5.3.1.	Tradicionalni vinogradi
26	I.7.1.1.	Drvoredi na međama kultiviranih površina
27	I.8.1.8.3.	Kampovi
28	J.	Izgrađena i industrijska staništa
29	J.4.4.2.	Površine za cestovni promet
30	J.4.4.4.	Lučke površine

size) podataka, površine (*extent*) krajobraza (Forman, 1995; Wickham, Riitters, 1995; Rocchini, 2005) i broja međusobnih korelacija između krajobraznih indikatora. Na istraživaču je da odredi koji su relevantni za kvalitetno reprezentiranje istraživanog prostora

(Riitters *et al.*, 1995; Cushman *et al.*, 2008; Schindler *et al.*, 2008).

Primjena krajobraznih indikatora uključuje prepoznavanje krajobraznih uzoraka, određivanje stupnja bioraznolikosti, fragmentacije staništa (Gardner *et al.*,



Slika 3: Utjecaj mjerila na izlazne rezultate

1993; Keitt *et al.*, 1997), krajobrazne promjene (Dunn *et al.*, 1991) i istraživanje mjera učinkovitosti pri determinaciji krajobraznih struktura (O'Neill, 1986; Turner, 1989).

Ciljevi ovog rada su:

1. Odabir i analiza skupa krajobraznih indikatora na razini elemenata i klasa kao osnovnih jedinica krajobraza, koje mogu biti relevantne i korisne prilikom unaprijeđenja krajobraznog planiranja (*landscape planning*).
2. Analiziranje horizontalne strukture krajobraza PP Vransko jezero na razini elemenata i klasa.
3. Analiza promjena obilježja horizontalne strukture određene klase uslijed pojačanog antropogenog utjecaja.
4. Izdvajanje dominantnih/stabilnih i ugroženih/labilnih tipova klasa.

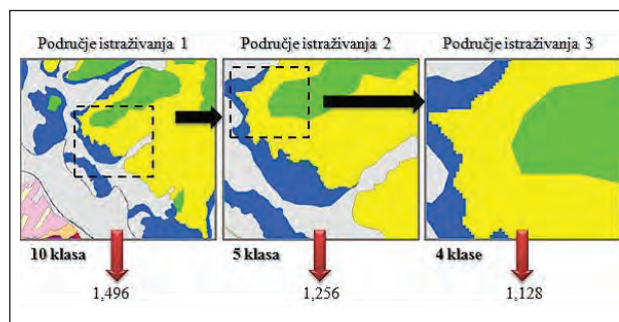
Osnovne hipoteze rada su:

1. Analizom krajobraznih indikatora moguće je precizno određivanje prostornih odnosa između elemenata i klasa unutar krajobraza
2. Analizom krajobraznih indikatora moguće je utvrđivanje fragmentacije i postojanja specifičnih dominantnih/stabilnih i ugroženih/labilnih tipova krajobraza.

METODOLOGIJA

U znanstvenom procesu, uz opće znanstveno-istraživačke metode, korištene su različite metode, tehnike i procedure u svrhu dobivanja kvalitetnijih izlaznih rezultata i postizanja egzaktnijih rezultata istraživanja. Metode primijenjene u ovom istraživanju su metode analize krajobraza pomoću krajobraznih indikatora, GIS-a i statističke metode. Primjena GIS metodologije uključuje nekoliko koraka:

1. izbor softvera;
2. prikupljanje podataka;
3. vrednovanje, izradu i doradu podataka;
4. pohranjivanje i izradu nove baze podataka;



Slika 4: Utjecaj područja istraživanja na izlazne rezultate pri mjerilu od 1:5000

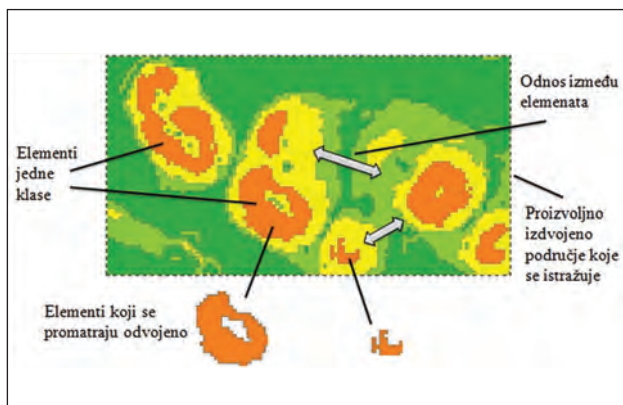
5. statističku analizu;
6. kartografske metode.

Krajobraz PP Vransko jezero reprezentira 30 klasa staništa (Tablica 1). Karta staništa izrađena je u mjerilu 1:5000, prema pravilima nacionalne klasifikacije staništa u Republici Hrvatskoj (Jelaska, 2012).

Postupno povećavanje ili smanjivanje mjerila prilikom primjene krajobraznih indikatora, kao funkcionalnih i strukturnih pokazatelja, još uvijek predstavlja izazov (Mander *et al.*, 2005; Rocchini, 2005). Stoga je uspoređen utjecaj mjerila i veličine područja istraživanja na izlazne rezultate (Slike 3 i 4). Nadalje, u analizu nije uključeno jezero (prema NKS kodu – stalna stajaćica), jer bi bilo dominantan element s obzirom na to da zauzima više od polovice površine PP Vransko jezero.

Za potrebe analize horizontalne strukture elemenata unutar PP Vransko jezero korišteno je 12 krajobraznih indikatora: broj elemenata (broj elemenata jedne klase), površina klase, srednja veličina elementa, standardna devijacija veličine elementa, iznos rubne linije (cjelokupna dužina rubnih linija koje postoje unutar jednog područja), gustoća rubnih linija, srednja dužina rubne linije po elementu, srednji indeks oblika (oblik elementa u odnosu na krug iste površine), odnos između obujma i površine, srednja fraktalna dimenzija (tj. koliko je kompleksan ili isprekidan oblik elementa), indeks diverziteta i indeks ravnomjernosti (tj. koliko je ravnomjerna raspodjela klasa) (McGarigal, Marks, 1995; McGarigal, 2002).

Indikatori su odabrani semantičko-sadržajnom metodom, s ciljem ograničenja cjelokupne količine indikatora koje je moguće primijeniti u analizi (McGarigal, 2002; Langanke *et al.*, 2005). Za izračun navedenih vrijednosti korištene su dvije ekstenzije, *Patch Analyst* i *V-Late* unutar ArcGIS-a i softver *Fragstats*. Struktura se odnosi na specifičnu konfiguraciju elemenata koja prikazuje veličinu i oblik elemenata i njihov prostorni raspored (kompozicija i konfiguracija elemenata krajobraza). Element je najmanja homogena jedinica krajolika. Jedan ili više elemenata čine klasu, a krajolik (istraživano područje) se sastoji od više klasa (Slika 5). Svi parametri oblika temelje se na kombinaciji površine i obujma (Lang, Blaschke, 2007).



Slika 5: Primjer odnosa između elementa, klase i krajobraza u cjelini

Površina klase (*class area*) se koristi kao mjera sastava (kompozicije). Jednaka je ukupnoj površini (izraženoj u ha) svih elemenata unutar odgovarajuće klase, prema formuli (McCarigal, Marks, 1995):

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right), a_{ij} = \text{površina (ha) elementa } ij$$

Ukupna dužina rubne linije (*total edge*) jednaka je zbroju dužina (m) svih rubnih segmenata odgovarajuće klase, prema formuli (McCarigal, Marks, 1995):

$$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}, e_{ik} = \text{ukupna dužina rubne linije pojedine klase}$$

Veća vrijednost dužine rubne linije poistovjećuje se s bogatstvom strukture, no isto tako može značiti fragmentaciju (*fragmentation*) (Lang, Blaschke, 2007). Uz indikator ukupne dužine rubne linije koristi se i indikator gustoće rubne linije (*edge density*) koja je jednaka ukupnoj dužini rubne linije klase u odnosu na ukupnu površinu područja istraživanja. Za izračun ovog indikatora primjenjuje se formula (McCarigal, Marks, 1995):

$$ED = \frac{e_{ik}}{a}, e_{ik} = \text{ukupna dužina rubne linije pojedine klase, } a = \text{površina}$$

Parametar omjera opsega i površine indikator je kompleksnosti oblika. Problem ovog indikatora je što varira ovisno o površini elementa (McCarigal, Marks, 1995). Računa se prema formuli:

$$PARA = \frac{p_{ij}}{a_{ij}}, p = \text{opseg elementa } ij, a = \text{površina elementa } ij$$

Fraktalna dimenzija (*fractal dimension*) predstavlja indikator determinacije kompleksnosti graničnih linija. Pomoću ovog indikatora određuje se iregularnost određenog oblika, koji je invarijantan s obzirom na mjerilo. Ukazuje na stupanj složenosti ili isprekidanosti oblika elementa i obično je manji od 2 (u slučaju da obujam zauzima cjelokupnu površinu), jer vrijednosti preko 2 indiciraju artefakt. Formula fraktalne dimenzije je sljedeća (McCarigal, Marks, 1995):

$$FRAC = \frac{2 * \ln(p_{ij})}{\ln(a_{ij})}, p = \text{opseg elementa } ij, a = \text{površina elementa } ij$$

Diverzitet se u analizama krajobraza koristi kao mjera informacije (McCarigal, Marks, 1995). On je složena mjera bogatstva (*richness*) i ravnomjernosti raspodjele (*evenness*) (McCarigal, Marks, 1995) i ovisi o broju različitih klasa kao i broju elemenata unutar klasa. Elementi su u ovom slučaju nosioci informacija, diferencirani prema njihovoj količini. Shannonov indeks diverziteta pruža informaciju o udjelu i raspodjeli klasa na temelju pojedinih udjela površine. Izvorno je predložen za potrebe kvantificiranja entropije informacijskog sadržaja. Osnova pretpostavka je da što više klasa postoji u krajobrazu i što je ravnomjernija njihova prostorna raspodjela te sličniji broj elemenata unutar njih, to će biti veći diverzitet krajobraza (Lang, Blaschke, 2007). Računa se prema formuli:

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i * \ln P_i$$

Ravnomjernost raspodjele je indikator koji mjeri aspekt krajobrazne kompozicije odnosno homogenost zastupljenosti određene klase među vrstama klasa (Colwell, 2009). Računa se prema formuli:

$$EVEN = \frac{H}{\ln m} = - \frac{\sum_{i=1}^m P_i * \ln P_i}{\ln m}$$

H =diverzitet, P =stupanj pokrivenosti klase i , m = količina (broj) klase, $EVEN$ =ravnomjerna raspodjela (Lang, Blaschke, 2007)

Indikator oblika (*shape index*) predstavlja parametar koji se koristi pri definiranju oblika. On pokazuje koliko je odstupanje aktualnog oblika jednog elementa od optimalnog oblika kruga (vrijednost 1 predstavlja oblik kruga) (Lang, Blaschke, 2007) tj. procjenjuje kompleksnost oblika elementa kroz usporedbu sa standardnim oblikom kruga, pri čemu vrijedi pravilo: što je veće odstupanje elementa od standardnog oblika kruga, to je veća vrijednost indeksa oblika. Indikator oblika računa se prema formuli (Lang, Blaschke, 2007):

$$SI = \frac{P}{2\sqrt{\pi * a}}, p = \text{opseg}, a = \text{površina}$$

Između elemenata unutar klasa može se utvrditi i odnos susjedstva i blizine. Pomoću softvera računa se najkraća (euklidska) udaljenost između dva elementa, određuje se površina susjednog elementa i oba se parametra dovode u odnos. Dakle, utvrđuju se razlike u prostornoj disperziji kao i raspodjela u obliku klastera.

Bitan pokazatelj interakcije između elemenata je indikator koncepta blizine. Indikator koncepta blizine (*proximity index*) računa se prema sljedećoj formuli (Lang, Blaschke, 2007):

$$PX_{fg} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{d}, A = \text{površina}, a d = \text{udaljenost}$$

Krajobrazni indikator blizine (PROX^x) pripada skupini indikatora koji se koriste za analize susjedstva unutar klasa, a pokazuje koliko je jedna klasa dobro uklopljena unutar svoje okoline kroz analizu susjedstva elemenata iste klase. Indikator blizine određuje se na razini elementa a uzima u obzir površinu i udaljenost svih onih elemenata čije su rubne linije unutar specifičnog radijusa od žarišnog (*focal*) elementa. Izvodi se kao rezultat sume površine svih elemenata jedne klase čiji se rubovi nalaze unutar radijusa pretrage od žarišnog elementa (), podijeljene s kvadratom njihove udaljenosti (h_{ijs}^2):

$$PROX = \sum_{g=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$$

Drugim riječima, indikator kvantificira prostorni kontekst elementa u odnosu na svoje susjede unutar iste klase, tj. ukazuje na diferencijaciju distribucije elemenata unutar klasa odnosno stupanj izolacije i fragmentacije. Primjerice, ona klasa koja u svom susjedstvu (definiranim radijusom) ima više elemenata veće ukupne površine na manjoj udaljenosti, imat će veću vrijednost indikatora (manji stupanj izolacije). Identificiraju se klase (staništa) s rijetkom distribucijom elemenata od onih klasa koji predstavljaju kompleksan skup (*cluster*) (McGarigal et al., 2002; Rutledge, 2003; Lang, Blaschke, 2007).

Indikator euklidske udaljenosti najbližeg susjeda (NN-DIST^x) pokazuje koliko je udaljen susjedni element iste klase. Razlikuje se od indikatora blizine jer se prilikom generiranja ne koristi površina elementa, a udaljenost se računa samo do susjednog elementa, a ne do svih elemenata unutar određenog radijusa (Hargis et al., 1998):

$$ENN = h_{ij}, h_{ij} = \text{udaljenost elementa do najbližeg susjednog elementa iste klase}$$

To je najjednostavniji indikator koji ukazuje na obilježje susjedstva elemenata iste klase te se često koristi u kvantificiranju izolacije elemenata. Računa se na temelju najkraće linearne udaljenosti između žarišnog elementa i njegova najbližeg susjeda unutar iste klase. Visoka vrijednost indikatora (najveća udaljenost između susjednog i žarišnog elementa) ukazuje na određeni stupanj izolacije (McGarigal et al., 2002; Rutledge, 2003; Lang, Blaschke, 2007).

REZULTATI

Analiza horizontalne strukture krajobraza

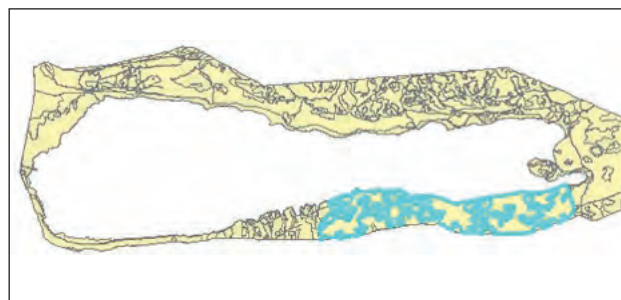
a) Analiza na razini elementa

Nakon definiranja 12 krajobraznih indikatora na temelju dobivenih vrijednosti izvršena je analiza horizontalne strukture elemenata unutar PP Vransko jezero. Vrijednost indikatora fraktalne dimenzije ≥ 2 ima 27 elemenata (obujam zauzima cjelokupnu površinu, dakle P jednako A) (Slika 6). Ovo može biti pokazatelj: 1) artefakata, 2) prikupljanja (kartiranja) podataka u krupnom mjerilu ($\leq 1:1000$) i 3) automatski procesiranih poligona. U ovom slučaju razlog je prikupljanje (kartiranje) podataka u krupnom mjerilu. Većina ovih elemenata (61,2%) odnosi se na površine za cestovni promet za koje je karakteristično da imaju širinu do 3 metra. Ostatak se odnosi na elemente koji se nalaze u rubnim dijelovima Parka (nastavak elementa nalazi se izvan granica Parka). Najmanju vrijednost indikatora fraktalne dimenzije (1,246) ima element I2112 (mozaik složene strukture usjeva) (Slika 10). On je u ovom slučaju pokazatelj manje kompleksnosti spomenutog elementa.

Površina, kao najvažnija mjera strukture krajobraza, ukazuje na razlike između elemenata. Ona na istraživanom području varira od 20 m² (neobrasle i slabo obrasle obale stajačica) do 3,83 km² (dračici). Površina i dužina rubne linije izračunata je iz vektorskog modela u kojem se obujam zbraja preko pojedinih segmenata poligona (segmenti predstavljaju hipotenuze čija se dužina računa pomoću Pitagorina teorema). Značajke graničnih linija pokazatelj su bogatstva strukture. Vrijednost dužine graničnih linija u PP Vransko jezero iznosi 808,27 km. Razlozi tome su preciznost kartiranja i velik udio lokalnih prometnica koje presijecaju elemente, povećavajući njihov broj. Najveću vrijednost granične linije ima element dračici (58,41 km) (Slika 7). Kvaliteta granične linije je izrazito velika, s obzirom na to da navedeni element nije isprekidan prometnicom (antropogenim utjecajem). Element na kojeg značajno utječe gustoća prometnica, povećavajući tako dužinu granične linije, je E81 (mješovite, rjeđe čiste vazdazelene šume i makija crnike i oštrike (45,45 km). S obzirom na to da je teško opisati i usporediti oblike elementa koji ovise o veličini površine, nužno je koristiti indikator oblika.



Slika 6: Elementi koji imaju fraktalnu dimenziju ≥ 2



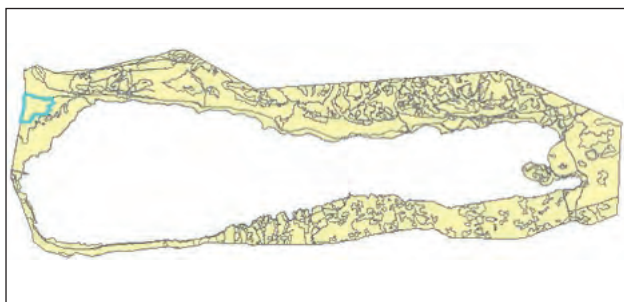
Slika 7: Element koji ima najveću površinu i opseg (dračici – A1311)



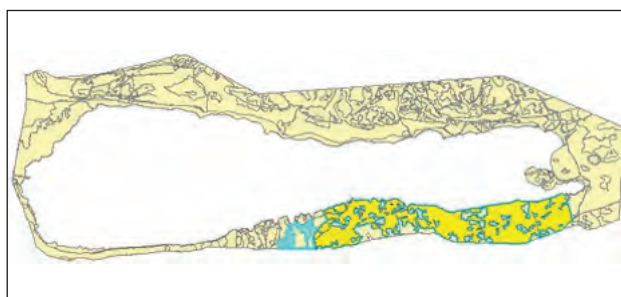
Slika 8: Element koji ima najveću vrijednost indeksa oblika (površine za cestovni promet - J442)



Slika 9: Element koji ima najmanju vrijednost indeksa oblika (povremene stajačice / tršćaci i rogozici – A121/A411)



Slika 10: Element koji ima najmanju vrijednost fraktalne dimenzije (mozaik složene strukture usjeva – I2112)



Slika 11: Element koji ima najveću vrijednost indeksa koncepta blizine (dračici – D311)



Slika 12: Element koji ima najveću udaljenost od susjednog elementa (drvoređi na međama kultiviranih površina – I711)



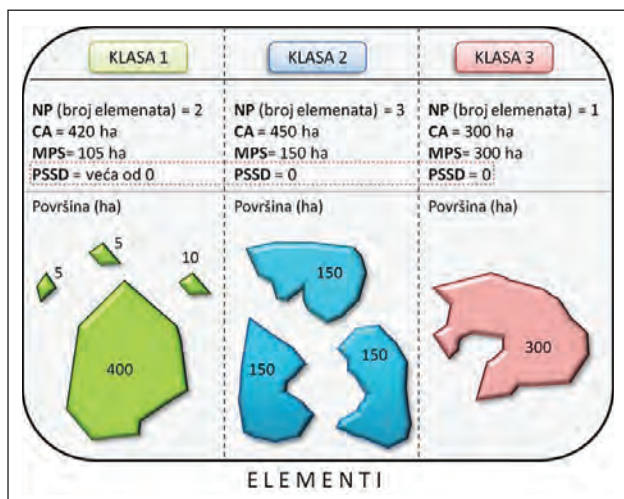
Slika 13: Odnos između elemenata s najvećom udaljenošću (drvoređi na međama kultiviranih površina – I711)

Tablica 2: Mjere strukture na razini klase

Klasa	CA	MPS	PSSD	TE	MPE	MSI	MPAR	MFRAC	Propo	Mprox	MNNdist
A121/A411	32214,7	32214,7	0,0	651,4	651,4	1,02	0,02	1,25	0,11	0	1,99
A1311	60253,7	2410,2	4576,7	23208,9	928,4	4,53	33,80	1,79	0,21	44,45	164,61
A24	27323,3	5464,7	4445,8	6093,4	1218,7	4,28	0,25	1,65	0,1	39,42	447,20
A411	2635486,1	239589,7	571628,6	53702,3	4882,0	3,34	0,18	1,49	9,37	1339,15	93,53
B1	623330,5	22261,8	65026,6	23891,0	853,3	2,01	0,13	1,46	2,22	188,31	181,91
B1/E81	372481,3	24832,1	29044,7	15436,3	1029,1	1,99	0,10	1,44	1,32	124,52	90,39
B14	9677,2	509,3	348,0	4085,0	215,0	2,63	0,45	1,73	0,03	0,65	125,50
C251	24152,8	12076,4	5402,2	1469,5	734,7	2,00	0,07	1,42	0,09	538,48	4,74
C251/F112	348490,0	87122,5	79631,0	7847,8	1961,9	1,98	0,05	1,38	1,24	1912,18	28,41
C351/D311	914450,1	39758,7	99399,2	28691,4	1247,5	1,95	0,11	1,44	3,25	12155,9	28,82
C351/D342	589988,0	39332,5	73714,6	17339,7	1156,0	2,03	0,10	1,43	2,1	14189,51	7,54
D311	6803363,9	130833,9	553002,6	118533,1	2279,5	2,42	0,21	1,49	24,2	88477,2	30,95
D311/D321	32845,4	16422,7	6359,1	2322,5	1161,2	2,56	0,07	1,46	0,12	0	13900,1
D321	12376,0	1547,0	1296,6	2170,4	271,3	2,00	0,22	1,55	0,04	47,4	572,40
D342	922366,3	30745,5	42078,4	30359,9	1012,0	1,90	0,10	1,42	3,28	18544,04	150,15
E81	6917163,3	121353,7	454818,8	141673,1	2485,5	2,31	0,10	1,44	24,6	206957,5	38,91
E81/B1	2779742,3	84234,6	130705,9	74940,5	2270,9	2,42	0,06	1,41	9,89	1683,86	75,50
E8210	29516,9	29516,9	0,0	725,4	725,4	1,19	0,03	1,28	0,1	0	13900,1
E829	443350,6	22167,5	22139,2	15852,9	792,6	1,67	0,08	1,39	1,58	169,29	253,36
E924	649182,0	29508,3	32226,0	17159,5	780,0	1,72	0,23	1,47	2,31	9550,49	62,71
I2112	2050073,1	56946,5	130848,2	40195,9	1116,6	1,88	0,23	1,47	7,29	14675,02	212,57
I3111/I161/I121	10565,6	10565,6	0,0	472,6	472,6	1,30	0,05	1,33	0,04	0	59,71
I5211	1153440,8	28836,0	54957,0	39368,5	984,2	1,87	0,10	1,41	4,1	7053,82	88,22
I5221	271152,4	8473,5	10016,7	14104,8	440,8	1,49	0,08	1,38	0,96	272,27	89,27
I531	2648,4	2648,4	0,0	211,8	211,8	1,16	0,08	1,36	0,01	0	1,99
I711	72344,3	18086,1	11972,4	8734,2	2183,6	4,40	0,13	1,57	0,26	0,11	1756,13
I8183	62699,7	6270,0	6309,2	3807,8	380,8	1,86	0,21	1,47	0,22	505542,5	0,00
J	109476,5	21895,3	17326,4	4511,4	902,3	2,06	0,07	1,40	0,39	2319,19	577,71
J442	150835,2	4189,9	13157,5	110369,9	3065,8	9,59	1,02	1,99	0,54	1,62	173,85
J444	2448,4	2448,4	0,0	341,7	341,7	1,95	0,14	1,50	0,01	0	0,00

Element koji najviše odstupa od optimalnog oblika kruga je J442, tj. površine za cestovni promet (Slika 8). Vrijednost indikatora oblika za isti element iznosi 50,45 (1 ima značenje oblika kruga). Velike vrijednosti imaju i tršćaci i rogozici (9,23) i obrasle ili slabo obrasle obale stajačica (13,1). Vrijednosti su posljedica oblika navedenih

elemenata ali i detaljnog kartiranja. Najmanje odstupanje od oblika kruga ima element A121/A411 (1,02). Radi se o plitkom jezercu obraslom tršćacima u južnom dijelu parka (Slika 9). Niže vrijednosti indeksa oblika imaju intenzivni i tradicionalni maslinici, kampovi i mozaik složene strukture usjeva (svi do 1,15). Sve vrijednosti



Slika 14: Primjer izvođenja varijabilnosti veličine elemenata (PSSD)

indeksa oblika do 1,4 mogu se na osnovi standardizacije nazvati relativno homogenima (Lang, Blaschke, 2007).

Najveći indeks koncepta blizine, tj. najveću interakciju između elemenata, u smislu prostorne disperzije i raspodjele u obliku klastera, imaju dračici, a najmanju mozaici složene strukture usjeva. Na slici 10 i 11 se može uočiti zašto je interakcija (indeks koncepta blizine) između označenih elemenata dračika najveća, a između usjeva najmanja.

Indikator udaljenosti, kao pokazatelj dostupnosti i povezanosti između struktura krajolika, ukazuje na velike razlike između elemenata. Element koji ima najveću udaljenost (5,994 km) do susjednog elementa s istim vrijednostima je I711- drvoređi na međama kultiviranih površina (Slika 12). Na Slici 13 prikazan je odnos između elemenata s najvećom udaljenošću.

b) Analiza na razini klase

Korištenjem ekstenzija *Patch Analyst*, *V-Late* te softvera *Fragstats* izvedena je deskriptivna statistika za jedanaest indikatora strukture krajobraza na razini klase (Tablica 2). Analiziran je odnos svih trideset klase na temelju vrijednosti navedenih indikatora. Objasnjeno je što svaki indikator reprezentira, koji mu je glavni aspekt analize (diverzitet, analiza površine ili susjedstva, fragmentacija), raspon područja vrijednosti (primjer: 0-1) i na što dobivena vrijednost ukazuje. Na temelju analiziranih indikatora strukture krajobraza izdvojene su dominantne i ugrožene klase unutar krajobraza PP Vransko jezero.

Najveću površinu (CAⁱ) imaju klasa E81 (6,91 km²) i klasa D311 (6,8 km²), a najmanju J444 (0,288 ha) i I531 (0,2648 ha). Klasa E81 nije izravno ovisna o vodi u rezervatu, a uglavnom se prostire na I i SI području

Vranskog jezera. Razlog je veća nadmorska visina, manja poplavljenost i vlažnost, što pogoduje nastanku ovog vegetacijskog tipa. Površinom dominira i u karti staništa Vranskog jezera izrađenoj kroz projekt CRO-NEN u Državnom zavodu za zaštitu prirode (DZZP, 2010).

Sljedeća klasa po veličini površine odnosi se na područje dračika koji se prostiru uglavnom na J i JI dijelu Vranskog jezera. To je vrlo degradirani tip vegetacije u kojem je najčešće degradirano i tlo, koje je plitko i siromašno. Najmanje površine odnose se na lučki dio, odnosno nedavno obnovljenu lučicu Crkvinu koja predstavlja ishodišnu točku za obilasku u sklopu obilaska Parka prirode (Geonatura, 2014), te na tradicionalne vinograde koji broje samo jedan element unutar te klase.

Srednja veličina elementa (MPSⁱⁱ) unutar klase kreće se od najmanje 509,3 m² (B14) do 23,95 hektara (A411). Površina prosječne veličine elementa ukazuje na homogenost ili fragmentaciju klase. Ova mjera omogućava tumačenje obilježja distribucije površina između elemenata jedne klase ili krajobraza. Naime, progresivno smanjenje površina fragmenata unutar jedne klase ključna je komponenta podjele staništa. Dakle, dva krajobraza mogu imati istu površinu određene klase, ali onaj krajobraz čija klasa ima manju srednju površinu elementa može se smatrati fragmentiranijom. Ista je situacija u slučaju analiziranja klase unutar jednog krajobraza, gdje je fragmentiranija ona klasa koja ima manju prosječnu veličinu elementa (McGarigal *et al.*, 2002). Prema ovom indikatoru, najhomogenija je klasa trččaka i rogozika (A411). To je očekivano jer se navedena klasa odnosi na tip vegetacije koji isključivo uspijeva u vlažnom, poplavljenom i močvarnom području. Takvi uvjeti sprječavaju snažniju prostornu distribuciju elemenata unutar krajobraza, ograničavajući ga na uski poplavljeni pojas na S i SI strani Vranskog jezera (DZZP, 2010).

Najmanja prosječna površina elementa odnosi se na tirensko-jadranske vapnenačke stijene, odnosno ogoljena područja bez vegetacije. S obzirom na to da je prostor PP Vransko jezero pretežno močvarno područje s velikim udjelom vegetacijskog pokrova, jasno je da će ovaj element obuhvaćati manje površine koje se nastavljaju na područja izvan prostornog obuhvata istraživanja. Na takvom tipu staništa uspijeva tek hazmofitska vegetacija (vegetacija pukotine stijena) koja je relativno siromašna vrstama zbog ekstremnih ekoloških uvjeta (izloženost zaslanjivanju, suncu i jakom vjetru).

Indikator standardne devijacije veličine elementa (PSSDⁱⁱⁱ) predstavlja funkciju apsolutnog odstupanja, odnosno parametar koji ukazuje koliko veličine svih elemenata unutar jedne klase odstupaju od prosječne veličine elementa (MPS) iste klase. Time se dobiva informacija o varijabilnosti veličine elemenata. Međutim, bez analize MPS-a taj parametar je ponekad jako teško interpretirati (Kupfer, 2012). Područje vrijednosti navedenog indikatora varira od 0 do beskonačno. Vrijednost 0 za određenu klasu znači da veličina (površina) njezinih

elemenata uopće nije raspoređena, odnosno uopće se ne razlikuje od prosječne površine svih elemenata unutar te klase (parametar MPS). To može ukazivati na dva slučaja. Prvi je da svi elementi unutar te klase imaju istu površinu, a drugi je da se unutar te klase nalazi samo jedan element iz čije površine automatski proizlazi parametar MPS, tako da varijabilnosti u površini elemenata nema, odnosno ostvaruje se vrijednost nula (Slika 14).

Najveću varijabilnost veličine elemenata imaju A411 (trščaci i rogozici) i D311 (dračici). Razlog tome je velik broj elemenata unutar klase što ukazuje na veliko bogatstvo strukture, iako može ukazivati i na fragmentaciju klase. Dakle, ta varijabilnost je uvjetovana manjim brojem elemenata veće površine i većim brojem elemenata manje površine.

Najmanju varijabilnost veličine elemenata (vrijednost 0) ima više klasa: J444, I531, I3111/I161/I121, E8210 te A121/A411. Ova vrijednost ne ukazuje na to da svi elementi unutar navedenih klasa imaju jednaku površinu, čime ne postoji varijabilnost između njih. U ovom slučaju ona reprezentira samo klase koje imaju jedan element, čime je varijabilnost elemenata automatski isključena kao indikator (mora biti 0). Klasa koja ima više od jednog elementa, a najmanju varijabilnost u površini je B14 (tiresko-jadranske vapnenačke stijene). U skladu sa svojim obilježjima (ogoljeni prostori bez vegetacije), elementi klase su uglavnom manjih površina unutar PP Vransko jezero, čime je njihova varijabilnost smanjena (izostanak elemenata velikih površina).

Smatra se da indikatori rubnih linija najbolje predstavljaju oblik klase, odnosno njenu strukturu, iako ne moraju nužno biti prostorno eksplicitni za sve klase. Indikator ukupnog iznosa rubne linije (TE^{iv}) ukazuje na cjelokupnu dužinu rubnih linija svih elemenata jedne klase unutar krajobraza. Veliki iznos rubne linije može se poistovjetiti s velikom raznovrsnošću strukture klase, no isto tako može značiti fragmentaciju same klase (McGarigal *et al.*, 2002; Lang, Blaschke, 2007). Taj aspekt se naziva čimbenikom fragmentacije a najbolji primjer je antropogeno djelovanje kroz izgradnju infrastrukture unutar određenog staništa, čime se elementi tog staništa fragmentiraju a duljina rubne linije istovremeno povećava.

Najveću ukupnu duljinu rubne linije (TE) imaju klase E81 (141,6 km), D311 (118,5 km) i J442 (110,4 km). Ovaj indikator jasno reprezentira kako pojačan antropogeni utjecaj (izražen kroz modificiranje krajobraza) utječe na promjene obilježja horizontalne strukture elemenata. To je vidljivo u slučaju klase površine za cestovni promet koja ima jednu od najvećih vrijednosti rubne linije (101,4 km). Nadalje, ta klasa siječe i druge klase pa tako „umjetno“ povećava njihovu vrijednost rubne linije. Na taj način se vrši fragmentacija krajobraza (Slika 15). Antropogeni utjecaj, koji se odnosi na proces pošumljavanja alepskog bora na JZ području Vranskog jezera, uzrokovao je da klasa E924 (nasadi alepskog bora) ima relativno veliku duljinu rubne linije iako zauzima samo



Slika 15: Primjer fragmentacije klase D311 i D321 uslijed antropogenog utjecaja (izgradnja cestovne površine)

2,3% ukupne površine cijelog krajobraza. Pošumljavale su se manje, nepravilne površine, što je uzrokovalo veću ukupnu duljinu rubne linije. Također, potrebno je istaknuti prve dvije klase koje bilježe najveću ukupnu duljinu rubne linije (E81 i D311). Razlog tome je činjenica da spomenute klase zauzimaju najveće površine unutar cjelokupnog krajobraza PP Vransko jezero.

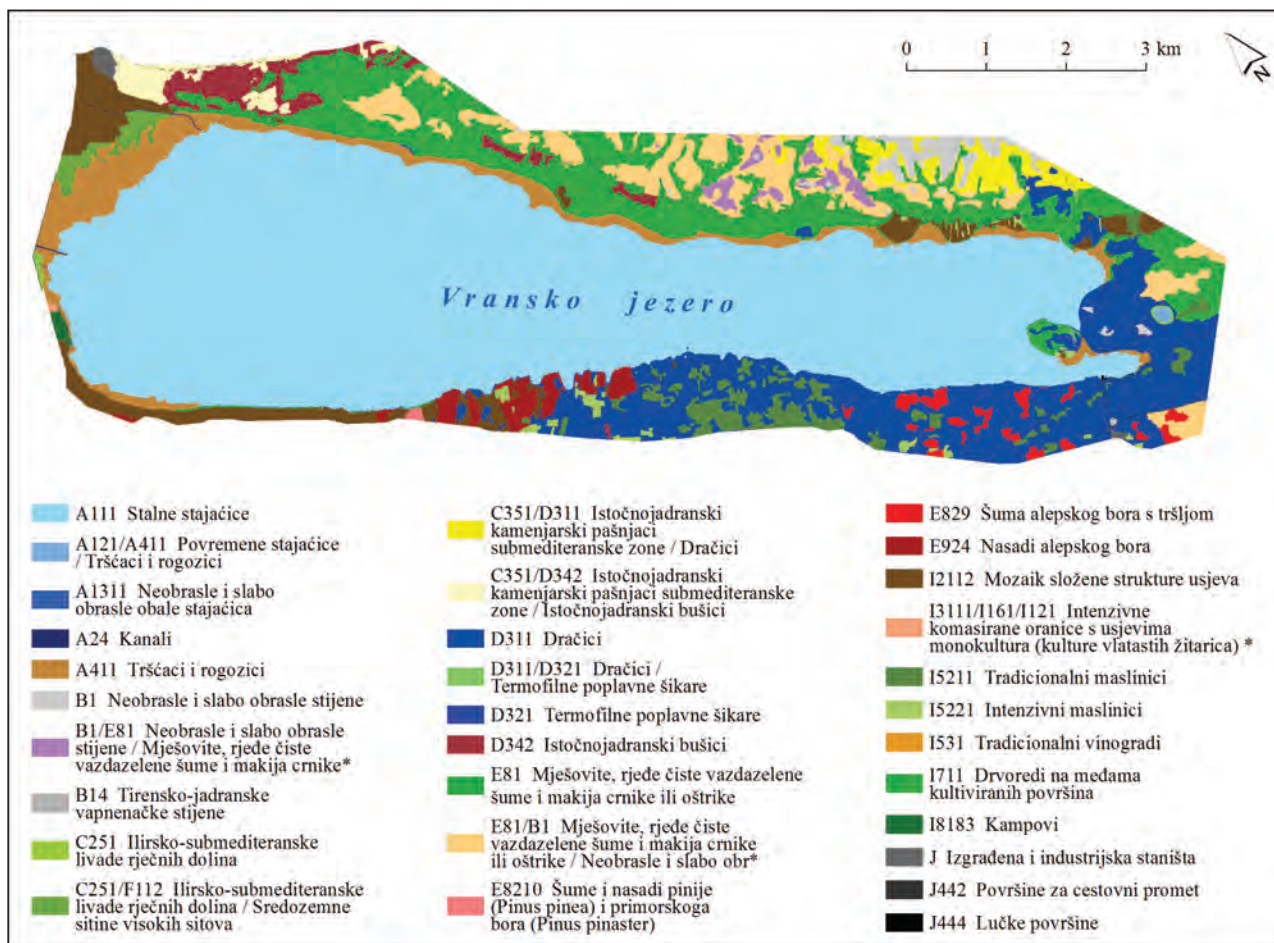
Najmanju ukupnu duljinu rubne linije (TE) imaju sve klase koje unutar sebe imaju samo jedan element, a to su: I531, J444, I3111/I161/I121, A121/A411 i E8210. Uz broj elemenata unutar klase razlog je i njihova mala površina. Klasa koja slijedi (C251) ima više od jednog elementa, a bilježi najmanju ukupnu duljinu rubne linije (1,5 km).

J442 – cestovna površina, B1 i E81 – neobrasle i slabo obrasle stijene, mješovite, rjeđe čiste vazdazelene šume i makija crnike ili oštrike, D311 i D321 – dračici, termofilne poplavne šikare, A411 – trščaci i rogozici

Indikator srednje dužine rubne linije po elementu (MPE^{v}), odnosi se na aspekt heterogenosti krajobraza a ukazuje na homogenost linija elemenata unutar klasa (McGarigal *et al.*, 2002; Lang, Blaschke, 2007). Najveću vrijednost srednje dužine rubne linije ima klasa A411 (4882 m) i J422 (3,1 km). Trščaci i rogozici imaju najveću vrijednost srednje dužine rubne linije zbog specifičnog oblika pružanja elemenata (uski, vijugavi, izduženi poligoni) (Slika 16). To ukazuje na homogenost klase, odnosno izostanak elemenata manjeg opsega. Razlog zašto J442 (cestovne površine) također bilježe visoke vrijednosti srednje dužine rubne linije po elementu je manji broj elemenata koji su izduženog, vijugavog oblika.

Najmanju vrijednost imaju klase I531 (211,8 m) i B14 (215 m). Razlog tome je manji broj elemenata, manja površina i pravilnost oblika (vinogradi). Sve klase koje se sastoje od samo jednog elementa bilježe iste vrijednosti indikatora TE i MPE.

Pomoću indikatora srednjeg indeksa oblika (MSI^{vi}) analizira se površina klase unutar krajobraza; indikator



Slika 16: Tipovi klasa staništa u Parku prirode Vransko jezero

pokazuje koliko su elementi unutar jedne klase kompaktni, odnosno usporedivi s krugom iste površine. Područje vrijednosti u kojem se ovaj indikator iskazuje iznosi od 1 do beskonačno ($1 - \infty$). Klasa koja ima vrijednost 1 ukazuje na oblik sličan krugu (McGarigal *et al.*, 2002; Lang, Blaschke, 2007).

Klase s najvećom vrijednosti srednjeg indeksa oblika su J442 (9,59) i A13111 (4,53). Dakle, elementi unutar ovih klasa najmanje su usporedivi s krugovima iste površine. To je razumljivo s obzirom na to da oblik klase J442 (površine za cestovni promet koje predstavljaju poligon izdužen u obliku linije) u potpunosti odstupa od oblika kruga. Sljedeća klasa čija površina najmanje nalikuje krugu iste površine su neobrasle i slabo obrasle obale stajačica (A13111). Razlog tome je specifična prostorna distribucija ove klase koja se veže uz površine u kojima se stalno zadržava voda ili površine koje su povremeno suhe uslijed umjetnog ili prirodnog kolebanja razine vode. Takva prostorna distribucija ima oblik uskog pojasa, odnosno uskog poligona izduženog u obliku linije.

Klase s najmanjom vrijednosti indikatora srednjeg indeksa oblika su A121/A411 (1,02) i I531 (1,16). Dakle, najmanje odstupanje od oblika kruga imaju klase sa samo jednim elementom. Jedna predstavlja plitko jezerce koje je obraslo tršćacima u južnom dijelu parka, a druga tradicionalni vinograd.

Indikator odnosa između opsega i veličine (MPAR^{vii}) pripada skupu indikatora kojima se kvantificira složenost elemenata unutar klase. Elementi pravilnog oblika (krug, kvadrat) imaju manju duljinu rubne linije ali potencijalno veće područje jezgre (*core area*). Suprotno tome, nepravilni tipovi oblika elemenata (izduženi, vijugavi, linijski oblici) imaju relativno malo područje jezgre, unatoč velikoj ukupnoj duljini rubne linije (Rutledge, 2003). Navedeni indikator ukazuje na odnos opsega elementa klase u usporedbi s njegovom površinom. Područje vrijednosti u kojem se ovaj indikator iskazuje iznosi od 0 do beskonačno ($0 - \infty$), a obično su vrijednosti manje od 1 (McGarigal *et al.*, 2002; Lang, Blaschke, 2007). Iz toga proizlazi da oni složeniji oblici koji imaju veći opseg istovremeno bilježe i veći odnos opsega i površine.

Klasa s najvećom vrijednosti indikatora odnosa između opsega i površine je A1311 (33,8). To je logično s obzirom na to da se radi o neobraslim i slabo obraslim obalama stajaćica koji imaju izuzetno nepravilan oblik (poligon izdužen u obliku linije). Klasa s najmanjom vrijednošću navedenog indikatora je A121/A411 (0,02) a odnosi se na plitko jezerce gotovo identičnog oblika krugu.

Oblici klasa najčešće se analiziraju kroz indikator fraktalne dimenzije. Indikator srednje fraktalne dimenzije (MFRACT^{viii}) ukazuje na stupanj složenosti oblika klase. Područje vrijednosti u kojem se ovaj indikator iskazuje iznosi od 1 (relativno jednostavni oblici) do 2 (složeniji oblici). Ako vrijednost određene klase prelazi 2 to indicira artefakt (McGarigal et al., 2002, Lang, Blaschke, 2007). Prednost analize oblika klasa pomoću fraktalne dimenzije jest u činjenici da može biti primijenjena za analizu prostornih značajki različitih mjerila (Rutledge, 2003).

Klase s najvećom vrijednosti indikatora srednje fraktalne dimenzije su J442 (1,99) i A1311 (1,79). Dakle, površine za cestovni promet i neobrasle i slabo obrasle obale stajaćica spadaju u najsloženije oblike klasa unutar krajobraza PP Vransko jezero. Nijedna klasa nema srednju fraktalnu dimenziju veću od 2. Visoke vrijednosti bilježe klase sličnog prostornog rasporeda (izduženi, linijski oblik), a to su: I711 (drvoredi na međama kultiviranih površina) i A24 (kanali).

Klase s najmanjom vrijednosti indikatora srednje fraktalne dimenzije su A121/A411 (1,25) i E821 (1,28). Dakle, plitko jezerce u obliku kruga te nasadi pinije i primorskoga bora spadaju u najmanje kompleksne oblike klasa unutar krajobraza PP Vransko jezero. Uglavnom su to klase s manjim brojem elemenata.

Indikator udjela omjera (P^{ix}) omogućuje analizu diverziteta krajobraza, ukazujući na udio površine određene klase unutar cjelokupnog krajobraza. U literaturi je drugi naziv za ovaj indikator PLAND (*percentage landscape*), a pripada indikatorima kompozicije krajobraza. To je važna mjera sa širokom ekološkom primjenom osobito ako se radi o studijama fragmentacije, odnosno gubitka staništa, gdje je važno znati u kolikoj mjeri određena klasa postoji ili je nestala iz cjelokupnog krajobraza. Područje vrijednosti u kojem se ovaj indikator iskazuje iznosi od 0 do 100% (McGarigal et al., 2002; Lang, Blaschke, 2007).

Od klasa s najvećim udjelom površine u cjelokupnom krajobrazu PP Vransko jezero ističu se E81 (24,6%) i D311 (24,2%). Nakon njih, s naglim padom postotka slijede klase E81/B1 i A411, od kojih svaka ostvaruje nešto više od 9% udjela ukupne površine krajobraza. Klasa E81 s dominacijom vegetacijskog oblika vazdazelenih hrastova prostire se uglavnom na S, SI i I strani PP Vransko jezero (Slika 16). Razlog najvećeg udjela ove klase u cijelom krajobrazu su specifičnost reljefa i klimatski uvjeti koji odgovaraju navedenom tipu vegetacije. To je prostor nešto veće nadmorske visine u odnosu na ostali dio Vranskog jezera, s područjem koje

je u manjoj mjeri izloženo plavljenju i prodiranju mora. Navedeni vegetacijski oblik, uz klasu B1 (neobrasle i slabo obrasle stijene), zauzima treće mjesto prema udjelu u ukupnom krajobrazu.

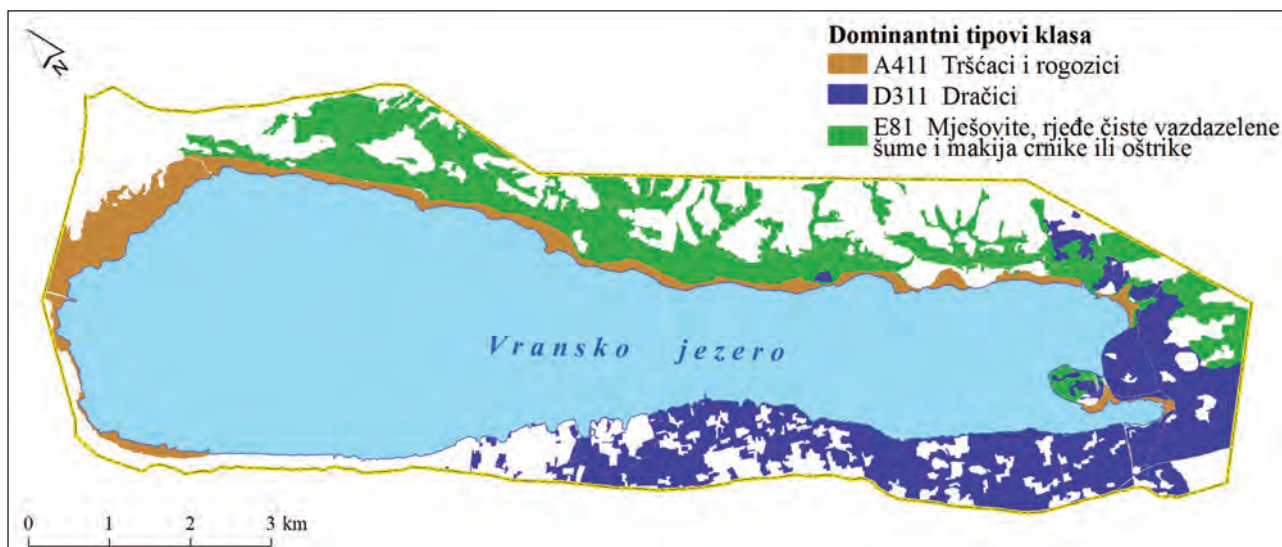
Dračici, kao druga klasa po udjelu, vrlo su rasprostranjeni skup staništa, razvijen unutar submediteranske vegetacijske zone kao jedan od degradacijskih stadija šuma medunca i bjelograba, a na prostoru PP Vransko jezero rasprostiru se uglavnom na J, II i I području (Slika 16). Trščaci i rogozici, kao četvrta klasa po udjelu, dominantan su oblik staništa na S dijelu PP Vransko jezero, te na uskom S, SI, I i J pojasu ruba jezera. Obuhvaćaju uski pojas ruba jezera jer taj prostor karakterizira češće plavljenje i visoka razina podzemne vode koja je pogodna za nastanak močvarnih, visokih jednosupnica i dvosupnica, uglavnom helofita. Na ovu klasu, na većim nadmorskim visinama nastavljaju se staništa E81 i E81/B1 (Slika 16).

Klase s najmanjim udjelom površine u cjelokupnom krajobrazu PP Vransko jezero su J444 (0,01) i I531 (0,01). Obje klase odnose se na dio krajobraza modificiran antropogenim utjecajem (lučke površine i tradicionalni vinogradi) te sadrže svaka po jedan element. Zanimljivo je da čak 17 tipova klasa unutar krajobraza PP Vransko jezero ima udio površine manji od 1%, što ukazuje na izraziti stupanj fragmentacije krajobraza, odnosno na moguću nestanak određenih klasa.

Klase s najvećom vrijednošću indikatora blizine su I8183 (505542,5), E81 (206957,5) i D311 (88477,2). Navedene klase imaju najbolje uklopljene elemente unutar svojih klasa, odnosno najmanji stupanj izolacije. Klase E81 i D311 odnose se na vegetacijske oblike koji zauzimaju najveći udio u cjelokupnom krajobrazu, rasprostranjeni su na karakterističnim područjima, a reprezentirani su najčešće elementima većih površina na manjoj udaljenosti. Izuzetak je klasa I8183 (kampovi) koja zauzima tek 0,22% ukupne površine cjelokupnog krajobraza i ne sadrži elemente velikih površina, ali svi elementi su situirani na maloj udaljenosti zbog načina izgradnje.

Klase s najmanjom vrijednošću blizine (najvećim indikatorom izolacije) su, očekivano, sve one klase koje sadrže samo jedan element (J444, I531, I3111/I161/I121, E8210, A121/A411). Sve navedene klase imaju vrijednost 0. Razlog tome je činjenica da unutar određenog radijusa od žarišnog elementa ne postoji nijedan drugi element unutar te klase. Potrebno je istaknuti klasu I711 (drvoredi na međama kultiviranih površina) s vrijednošću blizine 0,11 odnosno visokim stupnjem izolacije. Razlog tome je manja površina i velika udaljenost elementa. Naime, jedan drvored se nalazi na zapadnoj, a drugi na jugoistočnoj strani jezera (Slika 12 i 13).

U klase s najvećom euklidskom udaljenosti od žarišnog do najbližeg susjednog elementa spadaju D311/D321 i I711. Zanimljivo je da obje klase imaju jako niske vrijednosti indikatora blizine (0 i 0,11) što potvrđuje fragmentaciju klase i izolaciju elemenata. Klase



Slika 17: Dominantne klase staništa u Parku prirode Vransko jezero

s najmanjom euklidskom udaljenošću do susjednog elementa su I8183 i C251. Dobiveni rezultat za klasu kampova (I8183) rezultat je rasporeda elemenata (zbijeni način gradnje), što je posljedica ljudske modifikacije krajobraza. Kod klase ilirsko-submediteranskih livada riječnih dolina (C251) rezultat je posljedica manjeg broja elemenata smještenog na uskom području zaslanjenog vlažnog tla.

RASPRAVA

Svrha krajobrazne metrike je objektivno i kvantitativno opisivanje karakteristika krajobrazne strukture pomoću spektra indikatora koji su razvijeni za potrebe izvođenja različitih analiza aspekata krajobraza. Jedna od najčešćih analiza je utvrđivanje fragmentacije krajobraza (Hargis *et al.*, 1998; Antrop, 2000; Zhang *et al.*, 2004; Nagendra *et al.*, 2004) Upravo je brza fragmentacije prirodnih ekosustava potaknula nagli razvoj i unaprjeđivanje raznih indikatora strukture krajobraza (Rutledge, 2003). Analiza deskriptivne statistike 11 indikatora strukture krajobraza na razini klase poslužila je prilikom identificiranja dominantnih i ugroženih tipova klasa unutar krajobraza PP Vransko jezero.

Jedan od najvažnijih ciljeva primjene indikatora krajobrazne strukture je prepoznavanje i kvantificiranje stupnja i značajki fragmentacije (površina, oblik i konfiguracija) elemenata ili klase unutar krajobraza. Fragmentacija se odnosi na proces podjele određene strukture na manji broj elemenata manje površine. Poblježe ga opisuje broj, prostorna raspodjela i veličina podijeljenih elemenata ili klase. Primjerice, klasa podijeljena u 100 elemenata ima veću fragmentaciju od one podijeljene u 10. Slično tome, klasa podijeljena u 10 elemenata jednake površine ima

veću fragmentaciju od one koja je također podijeljena na isti broj elemenata, ali joj jedan element od njih čini 90% ukupne površine. Dakle, indikatori fragmentacije mjere stupanj povezanosti ili izolacije elemenata unutar njih, a u konačnici mogu ukazivati na proces gubitka staništa (Bennett, Saunders, 2010).

Iako fragmentacija implicira podjelu klase na više elemenata, čineći je nestabilnom, ugroženijom i podložnijom nestanku, taj se proces može prepoznati i utvrditi pomoću indikatora strukture krajobraza na razini klase. Indikatori na koje je stavljen naglasak prilikom utvrđivanja dominantnih i ugroženih klasa krajobraza Vranskog jezera su: CA, MPS, *Proportion*, TE, MNNdist i *Proximity* (Hargis *et al.*, 1998; Rutledge, 2003).

Analizom navedenih indikatora zaključeno je da su dominantni tipovi klasa (manja fragmentacija, veća kompaktnost; veliki udio u cjelokupnoj površini krajobraza) u PP Vransko jezero: E81, D311 i A411 (Slika 17).

Najdominantnija klasa krajobraza PP Vransko jezero su mješovite, rjeđe, čiste vazdazelene šume i makije crnike ili oštrike (E81). Nalaze se na I i SI prostoru PP, na staništima koja nisu ovisna o vodnom režimu, s većom nadmorskom visinom. Reprezentiraju dominantan tip vegetacijske zajednice unutar stenomediteranske i eumediteranske zone. Sljedeća klasa po dominantnosti su dračici (D311). To su šikare, rjeđe živice primorskih krajeva, izgrađene od izrazito bodljikavih, trnovitih ili aromatičnih biljaka nepogodan za brst, u prvom redu koza (Antonić *et al.*, 2005).

Prilikom izdvajanje ugroženih tipova klasa isključene su one klase koje se odnose na infrastrukturu nastalu antropogenim djelovanjem (cestovne površine, kampovi, lučke površine) unutar PP Vransko jezero. Iako te klase bilježe rezultate koji ih svrstavaju u ugrožene tipove

klasa (mala površina i udio u cjelokupnom krajobrazu, mala duljina rubne linije, nepravilan oblik, visoka izolacija) one to po svojoj prirodi nisu, jer im ne prijete opasnost od nestanka. Na temelju navedenih indikatora zaključeno je da su ugroženi/labilni tipovi klasa: I531, D321, I.3.1.1.1./I.1.6.1./I.1.2.1, B14 i E8210.

Na prostoru PP Vransko jezero klasa tradicionalnih vinograda (I531) bila je zastupljenija u 19. i 20. st. Međutim, određeni broj vinograda je poharao štetnika filoksera tako da su ti prostori iskrčeni. Također, razvoj turizma, koji postaje primarni izvor prihoda te promjena načina života, uvjetuje prestanka, odnosno polagano zapuštanje vinograda. Nadalje, termofilne poplavne šikare (D321) su prepoznate kao ugroženi tip klase krajobraza što potvrđuje podatak da su te zajednice konopljike i tamarisa *Vitici* – *Tamaricetum* prepoznate kao rijetki i zaštićeni stanišni tip u Hrvatskoj i u Europi (DZZP, 2010).

ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije i podizanje svijesti o očuvanju diverziteta staništa potaknulo je razvoj raznih indikatora (u okviru krajobrazne metrike) čija je primarna svrha detekcija recentnog stanja kao i prostorno-vremenskih promjena krajobrazne strukture. Naime, fragmentacija i nestanak staništa glavni su čimbenici globalnog smanjenja heterogenosti biljnog i životinjskog svijeta te promjena krajobraza. S ciljem testiranja skupa krajobraznih indikatora iz kojih se mogu generirati korisne informacije u svrhu unaprjeđenja krajobraznog planiranja, u

radu je izvršena analiza osnovnih značajki horizontalne strukture krajobraza PP Vransko jezero.

Zadovoljavajuća interpretacija dobivenih podataka moguća je jedino ako su u potpunosti poznata ograničenja i značenje korištenih indikatora. Izdvajanjem i analizom, na temelju stručne literature, šest odabranih krajobraznih indikatora (*CA*, *MPS*, *Proportion*, *TE*, *MNN-dist* i *Proximity*), identificirani su dominantni i ugroženi tipovi klasa unutar krajobraza. U dominantne spadaju mješovite, rjeđe čiste vazdazelene šume i makija crnike ili oštrike, dračici te trščaci i rogozici. U ugrožene spadaju tradicionalni vinogradi, termofilne poplavne šikare, intenzivne komasirane oranice s usjevima monokultura/korovi strnih žitarica/okopavinski korovi primorskih krajeva, tirensko-jadranske vapnenačke stijene te šume i nasadi pinije i primorskoga bora.

Rezultati ovog istraživanja ukazali su na mogućnost primjene odgovarajućih krajobraznih indikatora i njihova ograničenja prilikom preciznog određivanja prostornih odnosa između klasa unutar krajobraza. Unutar krajobraza PP Vransko jezero istaknuti su primjeri utjecaja antropogeno modificiranog krajobraza na promjene obilježja horizontalne strukture elemenata.

Podaci dobiveni ovim istraživanjem mogu poslužiti kao referentno stanje na temelju kojeg je moguće kroz duže razdoblje promatranja detektirati dominantne trendove promjene krajobrazne strukture, u svrhu očuvanja postojećih krajobraznih elemenata/klasa te zaštite i sprječavanja daljnje destabilizacije i fragmentacije ugroženih dijelova krajobraza.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE HORIZONTAL LANDSCAPE
STRUCTURE OF VRANSKO LAKE NATURE PARK*Ante ŠILJEG*University of Zadar, Department of Geography, Franje Tuđmana 24i, 23000 Zadar, Croatia
e-mail: asiljeg@unizd.hr*Sanja LOZIĆ*Vehicle Center of Croatia, Capraška 6, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: sanja.lozic@zg.t-com.hr*Ivan MARIĆ*University of Zadar, Department of Geography, Franje Tuđmana 24i, 23000 Zadar, Croatia
e-mail: imaric1@unizd.hr

SUMMARY

For the purpose of testing the group of landscape indicators an analysis was performed of the fundamental characteristics of the horizontal landscape structure of Vransko Lake Nature Park. The objectives of this study were (i) to select and analyse the group of landscape indicators at the level of elements and classes as fundamental landscape units that are relevant and useful in improving landscape planning; (ii) to analyse the horizontal landscape structure of Vransko Lake Nature Park; and (iii) to analyse changes to the features of the horizontal structure of determined classes due to anthropogenic effects and the identification of dominant/stable and threatened/labile types of classes. The fundamental hypothesis of the paper is that through an analysis of landscape indicators, it is possible to precisely determine the spatial relations between the elements and classes within the landscape, and that it is possible to determine fragmentation and the existence of specific dominant/stable and threatened/labile landscape types.

Methods applied in this study were landscape analysis methods based on landscape indicators, GIS and statistical methods. Two extension (Patch Analyst and V-Late) within ArcGIS were used and software Fragstat. The landscape of Vransko Lake Nature Park includes 30 habitat classes. A habitat map was drafted in the scale 1:5000, according to the rules of the National Habitat Classification of the Republic of Croatia. For the purpose of analysing the horizontal structures of elements within Vransko Lake Nature Park, 12 landscape indicators were used. The analysis was conducted at the level of 30 classes representing habitats. Through the analysis of six selected indicators (CA, MPS, Proportion, TE, MNNdist i Proximity) of landscape structure, dominant and threatened classes within the landscapes of Vransko Lake Nature Park were identified. As threatened landscape classes traditional vineyard and thermophilic flood vegetation were recognized. Dominant landscape classes are mixed, less frequently, pure evergreen forests and thorny low vegetation (dračici).

Keywords: landscape, landscape metrics, landscape indicators, element, class, GIS, Vransko Lake Nature Park

KRATICE

CA – Class Area
 MPS – Mean Patch Size
 PSSD – Patch Size Standard Deviation
 TE – Total Edge
 MPE – Mean Patch Edge
 MSI – Mean Shape Index
 MPAR – Mean Perimeter Area Ratio
 MFRAC – Mean Fractal Dimension
 P – Proportion
 PROX – Proximity
 NNDIS – Nearest Neighbor Distance

IZVORI I LITERATURA

- Antonić, O., Kušan, V., Bakran-Petricioli, T., Alegro, A., Gottstein-Matočec, S., Peternel, H. & Z. Tkalčec (2005):** Klasifikacija staništa Republike Hrvatske [Habitat classification of the Republic of Croatia]. *Drypis*, 1, 1, 2.
- Antrop, M. (2000):** Background concepts for integrated landscape analysis, *Agriculture, ecosystems & environment*, 77, 1, 17–28.
- Baker, W. L. & Y. Cai (1992):** The r. le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system, *Landscape ecology*, 7, 4, 291–302.
- Bennett, A. F. & D. A. Saunders (2010):** Habitat fragmentation and landscape change. *Conservation biology for all*, 93, 1544–1550.
- Burnett, C. & T. Blaschke (2003):** A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. *Ecological modelling*, 168, 3, 233–249.
- Christakos, G. (2002):** On the assimilation of uncertain physical knowledge bases: Bayesian and non-Bayesian techniques. *Advances in Water Resources* 25, 1257–1274.
- Colwell, R. K. (2009):** Biodiversity: concepts, patterns, and measurement. In: *The Princeton guide to ecology*. Princeton, Princeton University Press, 257–263.
- Cracknell, A. P. (1998):** Review article Synergy in remote sensing-what's in a pixel?, *International Journal of Remote Sensing*, 19, 11, 2025–2047.
- Cushman, S. A., McGarigal, K. & M. C. Neel (2008):** Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. *Ecological indicators*, 8, 5, 691–703.
- De Groot, W. T. & R. J. van den Born (2003):** Visions of nature and landscape type preferences: an exploration. *The Netherlands, Landscape and Urban Planning*, 63, 3, 127–138.
- Dunn, C. P., Sharpe, D. M., Guntenspergen, G. R., Stearns, F. & Z. Yang (1991):** Methods for analyzing temporal changes in landscape pattern. In: Turner, M. G. & R. H. Gardner (eds.): *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York, Springer-Verlag, 173–198.
- DZZP (2010):** Ornitološki rezervat Vransko jezero s dijelom Jasena – Obrazloženje uz izmjenu granica Ornitološkog rezervata Vransko jezero. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb. http://www.min-kulture.hr/userdocs/images/priroda%20nova/vransko_ornitološki_listopad2010_compres.pdf (17.2.2016).
- Elkie, P. C., Rempel, R. S. & A. Carr (1999):** Patch analyst user's manual: a tool for quantifying landscape structure. Thunder Bay, Ontario Ministry of Natural Resources, Boreal Science, Northwest Science & Technology.
- Ford, D. & P. Williams (2007):** Karst Hydrogeology and Geomorphology. Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons.
- Forman, R. T. (1995):** Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape ecology*, 10, 3, 133–142.
- Forman, R. T. & M. Godron (1986):** Landscape ecology. New York, John Wiley & Sons.
- Gardner, R. H., Krummel, J. R., Sugihara, G., O'Neill, R. V. & P. R. Coleman (1987):** Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos*, 48, 3, 321–324
- Gardner, R. H., Turner, M. G., Romme, W. H., O'Neill, R. V. & T. K. Kratz (1993):** A revised concept of landscape equilibrium: Disturbance and stability on scaled landscapes. *Landscape Ecology*, 8, 3, 213–227.
- Geonatura (2014):** Izgradnja lučice Crkvine u Parku prirode Vransko jezero – Studija glavne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu. Zagreb, Geonatura. http://www.mzoip.hr/doc/studija_glavne_ocjene_prihvatljivosti_2.pdf (17. 2. 2016).
- Gustafson, E. J. (1998):** Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? *Ecosystems*, 1, 143–156.
- Gustafson, E. J. & G. R. Parker (1992):** Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape ecology*, 7, 2, 101–110.
- Haines-Young, R. & M. Chopping (1996):** Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. *Progress in Physical Geography*, 20, 4, 418–445.
- Hargis, C. D., Bissonette, J. A. & J. L. David (1998):** The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape ecology*, 13, 3, 167–186.
- Iampietro, P. J., Kvitek, R. G. & E. Morris (2005):** Recent advances in automated genus-specific marine habitat mapping enabled by high-resolution multibeam bathymetry. *Marine Technology Society Journal*, 39, 3, 83–93.
- Jelaska, S. (2012):** Karta staništa PP Vransko jezero u mjerilu 1:5000. Park prirode Vransko jezero.
- Keitt, T. H., Urban, D. L. & B. T. Milne (1997):** Detecting critical scales in fragmented landscapes. *Conservation ecology*, 1, 1, 4.

- Kupfer, J. A. (2012):** Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in Physical Geography*, 36, 3, 400–420.
- Lang, S. & T. Blaschke (2007):** Analiza krajolika pomoću GIS-a. Požega, ITD Gaudeamus.
- Langanke, T., Bock, M., Rossner, G., Wissen, M., Remm, K., Lang, S., Klug, H., Blaschke, T. & B. Vrščaj (2005):** Spatial indicators for nature conservation from European to local scale. *Ecological indicators*, 5, 4, 322–338.
- Langran, G. (1992):** Time in geographic information systems. London, New York and Philadelphia, Taylor and Francis.
- Legendre P. & M. J. Fortin (1989):** Spatial Pattern and Ecological Analysis. *Vegetation*, 80, 107–138.
- Malczewski, J. (1999):** GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, Toronto.
- Mander, Ü., Müller, F. & T. Wrbka (2005):** Functional and structural landscape indicators: upscaling and downscaling problems. *Ecological Indicators*, 5, 4, 267–272.
- McGarigal, K. (2002):** Landscape pattern metrics, In: ElShaarawi, A. H. & W. W.
- McGarigal, K. & B. J. Marks (1995):** FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Corvallis, Oregon, Oregon State University Forest Science Department.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C. & E. Ene (2002):** FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, Computer Software Program Produced by the Authors at the University of Massachusetts, Amherst. www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html (18. 2. 2016).
- Nagendra, H., Munroe, D. K. & J. Southworth (2004):** From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101, 2, 111–115.
- O'Neill, R. V., DeAngelis, D. L., Waide, J. B. & T. F. H Allen (1986):** A Hierarchical Concept of Ecosystem. Princeton, Princeton University Press.
- O'Neill, R. V., Krumme, J. R., Gardner, R. H., Sugihar, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H. & R. L. Graham (1988):** Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1, 3, 153–162.
- Piegorsch (eds.):** Encyclopedia of Environmetrics, 1135–1142. Chichester, John Wiley & Sons.
- Riitters, K. H., O'Neill, R. V., Hunsaker, C. T., Wickham, J. D., Yankee, D. H., Timmins, S. P., Jones, K. B. & B. L. Jackson (1995):** A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 10, 1, 23–39.
- Robertson, G. P., Burger, L. W., Kling, C. L., Lowrance, R. & D. J. Mulla (2007):** New approaches to environmental management research at landscape and watershed scales. In: Schnepf, M. & C. Cox (eds.): *Managing agricultural landscapes for environmental quality*. Ankeny, Soil and water conservation society, 27–50.
- Rocchini, D. (2005):** Resolution problems in calculating landscape metrics. *Journal of spatial science*, 50, 2, 25–35.
- Rutledge, D. T. (2003):** Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? Wellington, Department of Conservation.
- Schindler, S., Poirazidis, K. & T. Wrbka (2008):** Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: a case study from Dadia National Park, Greece. *Ecological Indicators*, 8, 502–514.
- Turner, M. G. (1989):** Landscape ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 20, 171–197.
- Turner, M. G. (1990):** Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape ecology*, 4, 1, 21–30.
- Turner, M. G. & C. L. Ruscher (1988):** Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape ecology*, 1, 4, 241–251.
- Turner, M. G., Gardner, R. H. & R. V. O'Neill (2001):** *Landscape Ecology (in theory and practice)*, New York, Springer-Verlag.
- Uema, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R. & U. Mander (2009):** Landscape Metrics and indices: An overview of Their Use in Landscape Research. *Living Review in Landscape Research*, 3, 1, 1–28.
- Vivoni, E. R., Teles, V., Ivanov, V. Y., Bras, R. L. & D. Entekhabi (2005):** Embedding landscape processes into triangulated terrain models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 4, 429–457.
- Wickham, J. D. & K. H. Riitters (1995):** Sensitivity of landscape metrics to pixel size. *International Journal of Remote Sensing*, 16, 3585–3594.
- Woodward, J. C. (2009):** *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford, Oxford University Press.
- Wu, J. (1999):** Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian journal of remote sensing*, 25, 4, 367–380.
- Wu, J. & D. Marceau (2002):** Modeling complex ecological systems: an introduction. *Ecological Modelling*, 153, 1, 1–6.
- Wu, J. & R. Hobbs (2007):** *Key Topics in Landscape Ecology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Zhang, L., Wu, J., Zhen, Y. & J. Shu (2004):** RETRACTED: A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. *Landscape and Urban Planning*, 69, 1, 1–16.
- Zonneveld, I. S. (1989):** The land unit – a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape ecology*, 3, 2, 67–86