

RANGIRANJE ZONA UPRAVLJANJA U NACIONALNOM PARKU PLITVIČKA JEZERA IZVJEŠTAJ O PROJEKTU

L. ČAKLOVIĆ AND S. POSAVEC

SAŽETAK. U ovom je izvještaju ukratko objašnjena metoda potencijala i dana je analiza grupne odluke s ciljem rangiranja zona u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Grupu sačinjavaju eksperti, zaposlenici parka, a kriteriji su općekorisne funkcije šuma. Na kraju je dana usporedna analiza rezultata ankete provedene među posjetiteljima/turistima i ankete među ekspertima o važnosti općekorisnih funkcija šuma.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Ciljno razmišljanje	2
2.1. Elementi odlučivanja	2
2.2. Uspoređivanje u parovima. Teorija korisnosti.	3
2.3. Metoda potencijala	5
2.4. Procedura računanja potencijala.	5
2.5. Hijerarhijsko odlučivanje	7
2.6. Grupna odluka	7
3. Analiza rezultata	8
3.1. Rezultati rangiranja zona	9
3.2. Rezultati rangiranja OKFŠ	9
3.3. Disperzija donosilaca odluke	9
4. Zaključak	11
5. Usporedba analize rezultata ankete za posjetioce i za eksperte.	12
6. Dodatak	14
6.1. Opće korisne funkcije šuma u zakonu	14
6.2. Detaljan opis zona upravljanja	15
Literatura	17

1. UVOD

Rangiranje zona upravljanja u nacionalnog parku Plitvička jezera je dio projekta *Analiza općekorisnih funkcija šuma na području nacionalnog parka "Plitvička jezera"* osmišljenog s ciljem

Date: 8. svibnja 2010.

Key words and phrases. ciljno razmišljanje, odlučivanje, metoda potencijala, rangiranje, klasterizacija, grupna odluka, plitvice, općekorisne funkcije šuma.

da se preispita važnost plitvičkih zona u strategiji upravljanja Parkom. Rangiranje zona i općekorisnih funkcija šuma zastupljenih u Parku provedeno je metodom potencijala, jednom od višekriterijskih metoda odlučivanja. Metoda je izabrana zbog jednostavnosti prikupljanja podataka, lakog razumijevanja od strane korisnika, dobre softverske podrške, i najvažnije od svega, jer omogućava obradu nepotpunih podataka.

U ovom radu dana je analiza mišljenja grupe eksperata, zaposlenika nacionalnog parka Plitvička jezera, u daljnjem tekstu Park, o vrednovanju zona upravljanja u Parku i opće korisnih funkcija šuma koje su tamo zastupljene. Anketu su osmislili, softverski organizirali i podržali voditelji projekta¹ u suradnji s istraživačkim centrom dr. Ivo Pevalek. U pozadini strukture individualnog i grupnog mišljenja je *metoda potencijala* razvijena od strane prvog autora.

Grupu eksperata, donosilaca odluke, sačinjavalo je 13 zaposlenika Parka s višegodišnjim iskustvom upravljanja, praćenja i analiziranja stanja i promjena na području Parka. Svaki donosilac odluke upoznat je s načinom prikupljanja podataka i matematičkom metodom u pozadini na prezentaciji projekta u institutu dr. Ivo Pevalek na Plitvicama i u individualnom kontaktu s voditeljima projekta. U tu svrhu sačinjeno je WEB sučelje s detaljnijim uputama o provođenju ankete na adresi <http://decision.math.hr/Projekti/Plitvice/>. Sama anketa provodila se u nekoliko etapa tijekom ljeta 2009. godine.

Metoda potencijala ([1], [2], [3]) bazira donošenje odluke na grafu preferencija i uspoređivanju u parovima i u uskoj je vezi s AHP metodom (Analytic Hierarchy Process) [6]. Individualne odluke svakog člana grupe sačuvane su na javnom serveru i nisu više dostupne promjenama. Rangiranje se može reproducirati za svakog pojedinog člana, cijelu grupu donosilaca odluke ili za odabrani broj članova grupe pokretanjem odgovarajućih WEB aplikacija na samoj stranici. Stranica je dostupna na adresi <http://decision.math.hr/examples/plitvice.php>

Struktura izvještaja je sljedeća. U poglavlju 2, CILJNO RAZMIŠLJANJE dane su osnove ciljnog razmišljanja i opisana je *metoda potencijala* kao procedura u hijerarhijskoj odluci. Analiza odluke dana je u poglavlju 3, ANALIZA REZULTATA RANGIRANJA. U poglavlju 6, DODATAK, dani su izvanci iz zakona koji govore o *opće korisnim funkcijama šuma* radi usporedbe s dobivenim rezultatima.

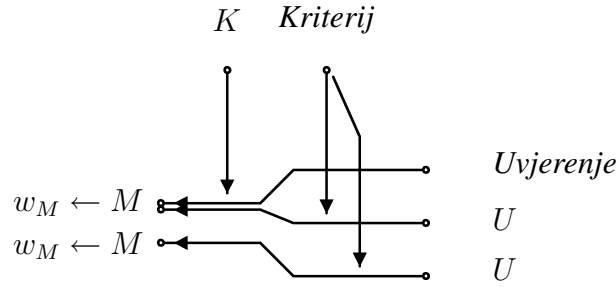
Kao izvor podataka, slika i tabela poslužio je plan upravljanja, [5].

2. CILJNO RAZMIŠLJANJE

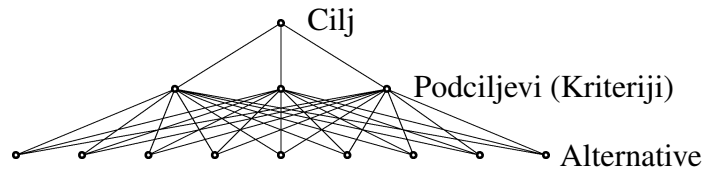
2.1. Elementi odlučivanja. Donošenje odluke je misaoni proces kojeg psihologija svrstava u *ciljno razmišljanje*, a zasniva se na mogućnostima (M) postizanja cilja (C) i uvjerenjima (U) koja od mogućnosti bolje pridonosi ispunjavanju cilja, v. sliku 1. Ljudski um traži uvjerenje (dokaz) potpomognuto kriterijima da odredi koja je mogućnost najuvjerljivija. Matematički model ovakvog razmišljanja predstavljen je hijerarhijom na slici 2, s mogućnostima ili *alternativama* na dnu hijerarhije. Glavni *cilj* je na vrhu hijerarhije, zatim slijede *podciljevi*, *kriteriji*. . . Pod *odlukom* na skupu od n alternativa podrazumijevamo nenegativnu funkciju w , nazivamo je još i *rangiranje*, sa svojstvom $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Hijerarhijska struktura je matematički model ciljnog razmišljanja. U takvoj strukturi svi elementi odlučivanja grupiraju se u nivoe koji su linearno uređeni. Hijerarhija je *strukturno i funkcionalno* stabilna. Strukturno, jer omogućava dodavanje i oduzimanje pojedinih elemenata a da se ne naruši cijela organizacija, a funkcionalno jer omogućava protok informacija odozgo prema dolje. U pravilu se konkretniji elementi odlučivanja nalaze pri dnu hijerarhije, dok se

¹Financira Ministarstvo kulture, Uprava za zaštitu prirode, NP Plitvička jezera i vodi se pod brojem 21319/06; voditelj: dr. Stjepan Posavec, Šumarski fakultet, Zagreb



SLIKA 1. Ciljno razmišljanje. Broj w_M je težina (važnost, rang) mogućnosti M .



SLIKA 2. Hijerarhija ciljnog razmišljanja.

općenitiji i neodređeniji nalaze pri vrhu. Širina utjecaja jednog nivoa je samo do njenog susjeda, tj. nivoa ispod. Elementi iz istog nivoa nemaju utjecaja jedni na druge. Procedura rangiranja započinje od cilja kao kriterija s rangom 1. Za svaki element već rangiranog nivoa, kao kriterij, rangiraju se elementi nižeg nivoa sve dok i posljednji nivo ne bude rangiran.

Hijerarhijsku struktura kao model koriste mnoge metode odlučivanja, a najviše je korištena u Saatijevoj AHP metodi (*Analytic Hierrarchy Proces*), [6]. AHP metoda (sa svojim varijantama) jedna je od najkorištenijih metoda odlučivanja. Glavni je razlog njena fleksibilnost i prilagođenost velikoj većini korisnika putem vrlo dobro napisanog softvera *Expert Choice*. Mana metode jest ta da korisnik mora usporediti sve alternative što je vremenski i mentalno zahtjevno za korisnika. U posljednje vrijeme raste broj članaka koji osporavaju njenu afikasnost ali to ne obeshrabruje njezine korisnike.

Metoda Potencijala (MP) koju ovdje koristimo koristi graf preferencija za organizaciju ulaznih podataka i dozvoljava nepotpune informacije što joj daje prednost u odnosu na AHP. Razumljivija je i fleksibilnija od AHP i daje iste rezultate tamo gdje je AHP primjenjiva. Za detalje i razne primjene metode potencijala vidi [1, Čaklović, Šego], [3, Čaklović] i [2, Čaklović]. Detaljnije o MP biti će govora u odjeljku 2.3.

2.2. Uspoređivanje u parovima. Teorija korisnosti. Uspoređivanje u parovima prisutno je u gotovo svim metodama odlučivanja. Rezultat tog uspoređivanja metoda potencijala 'pamti' kao usmjeren graf $\mathcal{G} = (V, \mathcal{A})$ gdje je V skup vrhova (alternativa) a \mathcal{A} skup lukova. Ako je vrh $a \in V$ više preferiran nego vrh b tada kreiramo luk $\alpha = (a, b) \in \mathcal{A}$ koji izlazi iz b i ulazi u a . Skup svih lukova predstavlja relaciju preferencije na kartezijevom skupu $V \times V$ što zapisujemo ovako

$$a \succ b \iff \alpha \in \mathcal{A}.$$

Problem je kako iz zadane relacije preferencije \succ konstruirati funkcija $X : V \rightarrow \mathbb{R}$ na skupu alternativa V tako da su relacija i funkcija usklađene tj. da vrijedi:

$$(1) \quad a \succ b \iff X(a) \geq X(b).$$

Ako je usklađenost prisutna kažemo da je X *ordinalna funkcija* vrijednosti generirana relacijom \succsim . Drugim riječima, preferencija među objektima može se izraziti brojem. Ordinalna funkcija vrijednosti X uvijek postoji ako je relacija \succsim potpuna i tranzitivna i dana je formulom (Savage)

$$(2) \quad X(a) = \#\{b \in V \mid a \succsim b\}$$

gdje $\#$ označava kardinalni broj skupa.

Ordinalna funkcija vrijednosti nije jedinstvena. Svaka druga funkcija koja je nastala kompozicijom funkcije X i neke rastuće funkcije također zadovoljava zahtjev (1).

Teorija korisnosti koja se intenzivnije počela razvijati sredinom prošlog stoljeća radovima von Neumanna & Morgensterna, [7], Savagea i drugih pretpostavlja da je relacija \succsim *potpuna i tranzitivna*, tj. da su svaka dva vrha grafa *povezana* lukom i da graf nema *nenegativnih* ciklusa. To znači da donosilac odluke mora biti u stanju usporediti svake dvije alternative i pri tome ne smije narušiti tranzitivnost preferencije. To su dvije nezaobilazne pretpostavke na kojima se bazira čovjekova 'racionalnost' u prosuđivanju. Metoda potencijala, koju ćemo kasnije detaljnije objasniti, u stanju je donijeti odluku čak i kada su obje te pretpostavke narušene.

Kod većine problema odlučivanja te se pretpostavke teško se mogu zadovoljiti. Tako na primjer, neke usporedbe zahtijevaju puno vremena ili puno novaca ili oboje. Ako preferenciju nije moguće uspostaviti tada graf nije potpun. S druge strane, potrebe današnjih upravljačkih struktura su takve da se forsira odluka i na temelju parcijalnih informacija. Netranzitivnost često može biti posljedica loše procjene, površnosti u prosuđivanju, zamora zbog previše razmišljanja ili pak nepoznavanja problema od strane donositelja odluke. To je posebno slučaj kod subjektivnih odluka, tj. kod odluka gdje se preferencije mjere na temelju subjektivne procjene a ne pomoću nekog mjernog instrumenta. U daljnjem tekstu mi pretpostavljamo samo da graf nema paralelnih lukova, tj. da je jedan par uspoređivan samo jednom, da nema petlji (lukova koji počinju i završavaju u istom vrhu), te da je graf preferencije povezan.²

Drugi zahtjev koji teorija korisnosti postavlja donositelju odluke jest taj da mora biti u stanju uspoređivati *zamjene* (eng. exchange). Zamjenu možemo poistovijetiti s lukom u grafu preferencije pa se uspoređivanje zamjena svodi na uspoređivanje lukova. Klasična oznaka za zamjenu je $(a \leftarrow b)$ i uspoređivanje zamjena definira relaciju na skupu svih zamjena $(V \leftarrow V)$ koju označavamo s \succsim_e . Od relacije \succsim_e također se zahtijeva da bude potpuna i tranzitivna. Osim toga relacije \succsim_e i \succsim moraju biti usklađene na neki način. Ta se usklađenost izražava sljedećim odnosom

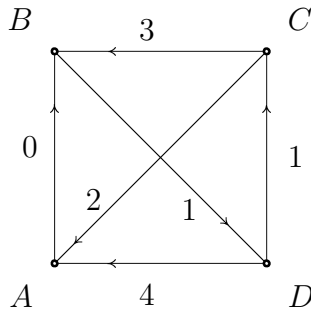
$$(3) \quad (a \leftarrow b) \succsim_e (c \leftarrow d) \iff X(a) - X(b) \geq X(c) - X(d)$$

gdje X zadovoljava (1).

Formula (1) ističe važnost same numeričke vrijednosti $X(a)$ objekta a , dok formula (3) daje važnost i razlici $X(a) - X(b)$. Drugim riječima, funkcija X koja zadovoljava (1) predstavlja *ordinalnu*, a ona koja zadovoljava (3) predstavlja *intervalnu* skalu. U literaturi se intervalna skala još naziva i *izmjeriva* funkcija vrijednosti. Konstrukcija intervalne skale na temelju dviju relacija \succsim i \succsim_e je prilično komplicirana i zahtijeva još neke dodatne zahtjeve, v. [7] ili [4].

² Kod važnih odluka testiranje eksperata vrši se u ugodnom ambijentu i u trenucima dobrog raspoloženja i dobro je nekoliko puta korigirati unesene podatke i tako smanjiti inkonzistentnost. Iskusni procjenitelji obično zapišu redosljed alternativa koji intuitivno očekuju i nakon toga prelaze na uspoređivanje u parovima. Uspoređivanje u parovima prvi puta se primijenilo u testovima 1927. g. i mnoga psihološka istraživanja sugeriraju da je čovjekov um zbunjen uvođenjem treće alternative u razmatranje. To je jedan od razloga zašto većina metoda za donošenje odluka koristi baš uspoređivanje u parovima.

2.3. **Metoda potencijala.** Kod uspoređivanja parova alternativa, osim orijentacije, usporedbi se obično pridružuje i intenzitet preferencije na nekoj skali. To znači da svakom luku α usmjerenog grafa pridružujemo nenegativan broj, označimo ga s \mathcal{F}_α . U slučaju da obje alternative jednako vrednujemo onda je vrijednost intenziteta jednaka 0, a orijentacija luka je nevažna. Tako određenu funkciju \mathcal{F} nazivamo **tokom preferencije**. Na slici 3 dan je primjer jednog toka preferencije na skupu alternativa $V = \{A, B, C, D\}$. Primijetimo da su A i B jednako vrednovane ali zato A ima prednost ispred C i to intenziteta 2. U ovome je primjeru prisutna i nedosljednost donositelja odluke u vidu ciklusa $D \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow D$ duž kojeg zbroj intenziteta nije jednak nuli.



SLIKA 3. Tok preferencije, primjer.

Konzistentan donosilac odluke trebao bi dati graf preferencije u kojem je

- (4) zbroj svih intenziteta duž svakog ciklusa jednak nuli.

Praksa pokazuje da je u subjektivnim preferencijama donosilac odluke rijetko kada konzistentan. Usprkos tome, metoda potencijala je sposobna rangirati alternative i izmjeriti inkonzistentnost donosoca odluke, što je posebno korisno za naknadnu analizu odluke.

Problem u donošenju odluke je sljedeći:

Iz zadanog toka \mathcal{F} konstruirati funkciju $X : V \rightarrow \mathbb{R}$ na skupu V tako da tok \mathcal{F} i funkcija X budu usklađeni na sljedeći način:

$$(5) \quad \mathcal{F}_\alpha \geq 0 \iff X(a) \geq X(b),$$

za svaki luk $\alpha = (a, b) \in \mathcal{A}$ i

$$(6) \quad \mathcal{F}_\alpha \geq \mathcal{F}_\beta \iff X(a) - X(b) \geq X(c) - X(d),$$

gdje je $\alpha = (a, b)$ i $\beta = (c, d)$.

Uvjet (5) zahtijeva usklađenost relacije preferencije s X , a (6) zahtijeva 'intervalnost' skale (eng. Condition of Order Preservation (COP)). Nužni zahtjev na tok \mathcal{F} , da bi uvjet (5) uopće mogao biti zadovoljen, je da relacija na skupu alternativa, koju inducira tok \mathcal{F} , bude tranzitivna. To je zahtjev na ordinalnu konzistentnost donositelja odluke. Uvjet konzistentnosti (4) je stroži zahtjev od ordinalne konzistentnosti jer je ordinalna konzistentnost njegova posljedica. Znatijeljnijeg čitaoca upućujemo na literaturu [1], [3] i [2].

2.4. **Procedura računanja potencijala.** Sada ćemo opisati proceduru donošenja odluke u metodi potencijala. Pretpostavimo da je donosilac odluke zadao tok F koji ne mora nužno biti konzistentan niti u smislu (4) niti ordinalno konzistentan. Jednostavnosti radi, pretpostavimo da je graf preferencije potpun, tj. da su sve alternative uspoređene i da su alternative ljudi. Ako je

$\alpha = (a, b)$ luk u grafu tada broj \mathcal{F}_α možemo interpretirati kao količinu novca koju osoba b daje osobi a . Nakon svih transakcija svaka osoba provjeri koliko novaca ima u džepu i to je njena vrijednost na kraju procedure. Neke osobe će biti u kreditu a neke u debitu, što znači da su se morale zadužiti. Suma svih vrijednosti jednaka je nuli kao i prije transakcija. Metoda potencijala, za razliku od gore opisane procedure, daje vrijednosti koje su podijeljene s brojem alternativa. Pravi razlog tome može se dokučiti tek nakon formula koje ćemo kasnije navesti.

Ako se malo bolje analizira prethodni postupak onda se vidi da je novac koji je ostao u džepu svake osobe razlika između količine novca kojeg je ona primila i kojeg je dala. Drugim riječima, vrijednost čvora/osobe je razlika između inputa i autputa toka za taj čvor što je svrstava u Input-Output metode. To je ujedno i razlog što se metoda potencijala može primijeniti i u području u kojem je metoda omeđivanja podataka (eng. Data Envelopment Analysis (DEA)) bila bez konkurencije, vidi [3]

Pogledajmo sada detaljnije kako se računa potencijal X . Zadanom grafu preferencija i toku \mathcal{F} prirodno se pridružuje **matrica incidencije** A grafa koja sadrži podatke o tome koji luk povezuje koje čvorove. Preciznije, matrični element od A je

$$a_{\alpha,v} = \begin{cases} -1, & \text{ako } \alpha \text{ izlazi iz čvora } v \\ 1, & \text{ako } \alpha \text{ ulazi u čvor } v \\ 0, & \text{inače.} \end{cases}$$

A je $m \times n$ matrica gdje je m broj lukova a n broj čvorova u grafu. Mi ćemo u daljnjem tekstu pisati a_{ij} gdje je i indeks i -tog luka a j indeks j -tog čvora. Vektorski prostor \mathbb{R}^m nazivamo **prostorom lukova** a vektorski prostor \mathbb{R}^n nazivamo **prostorom čvorova**. Matrica incidencija generira ortogonalnu dekompoziciju

$$(7) \quad N(A^\tau) \oplus R(A) = \mathbb{R}^m$$

gdje je $R(A)$ prostor stupaca matrice A , a $N(A^\tau)$ je nul-prostor matrice A^τ . Prostor $N(A^\tau)$ nazivamo i **prostorom ciklusa** jer je generiran ciklusima grafa. Tok \mathcal{F} na prirodan je način sada element prostora lukova \mathbb{R}^m . Važna posljedica ortogonalne dekompozicije (7) je ta da je tok \mathcal{F} konzistentan ako i samo ako je element prostora $R(A)$. To slijedi iz uvjeta (4) jer on izražava okomitost od \mathcal{F} i prostora $N(A^\tau)$.

Za konzistentan tok računanje X je prilično jednostavno. Ako je \mathcal{F} konzistentan tada postoji $X \in \mathbb{R}^n$ takav da je

$$(8) \quad AX = \mathcal{F},$$

ili, pisano u komponentama

$$(9) \quad X_i - X_j = \mathcal{F}_\alpha,$$

gdje je $\alpha = (i, j)$ luk koji izlazi iz j -tog i ulazi u i -ti čvor. Po analogiji s jednadžbom ravnoteže u strujnom krugu funkciju X nazivamo potencijalom. Primijetimo da rješenje jednadžbe (8) nije jedinstveno jer dodavanjem konstante c svakoj komponenti potencijala opet dobijemo rješenje jednadžbe koje se razlikuje od prethodnog. Ako tok \mathcal{F} nije konzistentan onda jednadžba (8) nema rješenja ali ima smisla tražiti najbolju aproksimaciju \mathcal{F}' toka \mathcal{F} pomoću stupaca matrice A i zatim rješavati sistem

$$(10) \quad AX = \mathcal{F}'.$$

Kut između vektora \mathcal{F} i \mathcal{F}' uzima se kao mjera inkonzistentnosti ulaznih podataka, oznaka $inc(\mathcal{F})$. Zbog jedinstvenosti potencijala dodaje se još jedan zahtjev a to je

$$(11) \quad \sum_{i=1}^n X_i = 0.$$

Praksa pokazuje se može tolerirati inkonzistentnost manja od 12^{o3} . Ako i nakon korekcije ulaznih podataka inkonzistentnost ostane velika tada dobiveno rangiranje treba uzeti s rezervom.⁴

2.5. Hijerarhijsko odlučivanje. U hijerarhijskom modelu svi elementi koji su važni za odluku grupiraju se u nivoe. Najviši nivo sadrži cilj, niži nivo sadrži podciljeve/kriterije, zatim slijede podkriteriji ... na dnu hijerarhije stoje alternative. Odluka se provodi na način da se cilj rangira rangom 1 i zatim se rangiraju elementi iz nižeg nivoa jednom od metoda (AHP, MP). Metoda potencijala, vidi formulu (10), daje potencijal X , no za daljnje računanje potrebno je izračunati rangove. Formula za rang je:

$$(12) \quad w_i = \frac{a^{X_i}}{\sum_{j=1}^n a^{X_j}}, \quad i = 1, \dots, n$$

i njihova suma je jednaka 1. Obrazloženje formule je sljedeće: AHP metoda koristi, u pozadini, multiplikativnu skalu za uspoređivanje po parovima. Ulazni podaci za AHP metodu su formirani u obliku pozitivne recipročne matrice i mogu se direktno prevesti u tok na usmjerenom grafu logaritmiranjem. To znači da su vrijednosti toka logaritmi matričnih elemenata jedne AHP matrice i mjereni su na aditivnoj skali pa su i vrijednosti potencijala na aditivnoj skali. Rangove stoga treba vratiti na multiplikativnu skalu pomoću eksponencijalne funkcije. Pri tome je sasvim svejedno, što se samo poretka tiče, koja je vrijednost baze eksponencijalne funkcije. Za sada se koristi vrijednost $a = 2$ iako donosilac odluke može to promijeniti ako želi.

Nakon rangiranja nivoa podciljeva/kriterija rangira se nivo ispod na sljedeći način:

- (1) donosilac odluke za svaki kriterij određuje graf jedan preferencija;
- (2) ti se grafovi stapaju⁵ u jedinstveni graf preferencija za cijeli nivo kojeg rangiramo;
- (3) iz tako dobivenog toka sada se izračunava potencijal i rang za svaki element nivoa na već opisani način.

Procedura se nastavlja sve dok i posljednji nivo ne bude rangiran.

2.6. Grupna odluka. U grupnoj odluci svaki član grupe definira vlastitu hijerarhiju. Jedini je zahtjev da svi članovi grupe rangiraju isti skup alternativa. Kriterije svaki donositelj odluke određuje sam osim ako drugačije nije dogovoreno. **Konsenzus grupe** je tok koji je konveksna kombinacija individualnih tokova s koeficijentima koji predstavljaju težine članova grupe. Ako drugačije nije definirano, težine članova su jednake. Detalji oko pravljenja konsenzusa za nepotpune grafove mogu se naći u [3].

³Najnovija statističke analize sugeriraju raspon od 10 do 18 stupnjeva za broj čvorova između 5 i 10.

⁴Najnovije numeričke simulacije i uspoređivanje metode potencijala s AHP metodom sugeriraju da je gornja granica inkonzistentnosti ovisna o broju alternativa i raste s brojem alternativa. Mjera od 12^o izgleda da je dosta stroga.

⁵Za potpune grafove to se radi računanjem konveksne kombinacije tokova dok je za nepotpune procedura nešto složenija. Detalji se mogu naći u [2]. Koeficijenti u toj konveksnoj kombinaciji su težine kriterija koje su prethodno izračunate.

RANGIRANJE ZONA

cijela grupa		konzistentni DO		inkonzistentnost < 20°	
zone	rang	zone	rang	zone	rang
1A	0.275	1A	0.268	1A	0.272
1B	0.257	1B	0.246	1B	0.259
2A	0.119	3B	0.132	3B	0.123
2B	0.119	3A	0.121	2B	0.118
3A	0.116	2B	0.119	3A	0.116
3B	0.115	2A	0.114	2A	0.112

TABLICA 1. Grupno rangiranje zona

3. ANALIZA REZULTATA

3.0.1. *Način testiranja.* Grupa eksperata od 13 zaposlenika Parka sačinjavala je grupu donosilaca odluke. Svaki donosilac odluke (u daljnjem tekstu DO) pažljivo je pročitao upute na WEB stranici <http://decision.math.hr/Projekti/Plitvice/> gdje se nalazi i link na test stranicu za uvježbavanje. Nakon procesiranja unešenih podataka na stranici za uvježbavanje ispisuju se rangovi i računa se inkonzistentnost ulaznih podataka mjereno u stupnjevima kuta. Ako je potrebno, donositelj odluke može se vratiti i korigirati svoje podatke kako bi smanjio svoju inkonzistentnost.

Testiranje je provedeno u dvije faze. Održano je predavanje svim članovima grupe u kojem je objašnjeno o čemu se radi i na što treba obratiti pažnju kod uspoređivanja u parovima. Nakon predavanja nekolicina je učesnika ispunilo upitnik i ostavljen je rok od nekoliko tjedana za ostale učesnike da učine isto. Nakon mjesec dana ponovno je održan sastanak i svi su učesnici revidirali svoje usporedbe i smanjili inkonzistentnost ulaznih podataka. Nakon toga napravljena je obrada podataka.

Od svih članova grupe samo njih 4 imalo je inkonzistentnost (kod rangiranja zona) veću od granične (12°) i to redom: 14.63, 22.23, 27.91 i 36.07

Kriteriji za rangiranje bili su za sve članove grupe isti a to su *opće korisne funkcije šuma* (OKFŠ) zastupljene na području Plitvica:

- (1) uravnoteženje vodnog sustava,
- (2) zaštita od erozije,
- (3) ublažavanje klimatskih ekstrema,
- (4) rekreacija–zdravstvo–turizam,
- (5) estetska vrijednost,
- (6) kvaliteta okoliša bioraznolikost,
- (7) ekološka poljoprivreda,
- (8) očuvanje faune,

a alternative su plitvičke zone: 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B. Kao što se vidi iz web stranice za uvježbavanje svaki član grupe u prvoj fazi uspoređuje OKFŠ u parovima, a zatim zone za svaku funkciju šuma kao kriterij.

Opis zona upravljanja dan je u tablici 8. a na slici 6 dane su površine tih zona u postocima. Površina nije bila kriterij u određivanju važnosti zona već samo gore spomenute OKFŠ.

3.1. Rezultati rangiranja zona. U tablici 1 dano je rangiranje zona za cijelu grupu, zatim za umanjenju grupu, iz koje se izbačeni donosioci odluke s velikom inkonzistentnošću i za grupu onih donosilaca odluke čija je inkonzistentnost manja od 20°. Posljednje dvije grupe razlikuju se u jednom članu. Sve tri grupe ističu važnost zona 1A i 1B u odnosu na ostale zone. Očito je da je jedan jedini donositelj odluke sa jako inkonzistentnim odacima utjecao da zona 3B padne na posljednje mjesto u stupcu *cijela grupa*. Preostale dvije grupe neznatno se razlikuju u svojim rangiranjima.

Finija analiza grupne odluke dana je u poglavlju 3.3 nakon što je učinjena klasterizacija grupe.

3.2. Rezultati rangiranja OKFŠ. Zanimljivo je kako su donositelji odluka rangirali kriterije, tj. OKFŠ. Pogledajmo prvo rangiranje svakog pojedinca. Rezultati su dani u tablici 2. Grubi pogled na tabelu kazuje da su *zaštita od erozije* i *očuvanje faune* pri vrhu rangliste, zatim slijede *uravnoteženje vodnog sustava* i *kvaliteta okoliša*.

Rangovi kriterija za cijelu grupu dani su u tablici 3 i to: za cijelu grupu, za konzistentne donosioce odluke i za one članove grupe čija je inkonzistentnost manja od 20°. Sve tri (pod)grupe dale su gotovo identične rangove. To znači da razlike u rangiranju zona u tablici 1 proizlaze iz različitih stavova članova grupe o samim zonama a ne u razlikama o shvaćanju kriterija. Razlike u kriterijima gotovo da i nema jer su stavovi ispitanika o njima unutar grupe homogeni.

Ponderi u uglatim zgradama, u prvom stupcu, dobiveni su dodavanjem potencijalu X minimalnu komponentu od X i množenjem s 3. Time dobivamo vrijednosti funkcije korisnosti (eng. utility) za svaku OKFŠ. Dozvoljena je bilo koja pozitivna afina transformacija tih vrijednosti jer je tako dobivena skala izmjeriva. Broj 3 je odabran zato da vrijednosti budu usporedive s onima određenim zakonom u tablici 7.

3.3. Disperzija donosilaca odluke. U fazi provođenja grupne odluke, prije pravljenja grafa preferencije za cijelu grupu, korisno je izračunati udaljenost članova grupe računajući udaljenost njihovih preferencija. Rangovi svakog člana grupe su vektori iste duljine i ima smisla računati njihovu međusobnu udaljenost. Međutim, rangovi ovise o vrijednosti baze a u formuli (12) tako da je razumnije računati udaljenosti među potencijalima koji ne ovise o broju a . Još jedna napomena se ovdje čini važnom; na prvi pogled se čini da bi bilo korektnije definirati mjeru sličnosti na tokovima preferencija ali je poteškoća u tome što duljina vektora toka ovisi o broju uspoređenih parova. S druge strane, dva donositelja odluke mogu proizvesti isto rangiranje sa

OKFŠ	Donosioci odluke												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
uravnoteženje vodnog sustava	.29	.09	.13	.20	.18	.11	.22	.18	.22	.10	.12	.18	.19
zaštita od erozije	.21	.07	.34	.17	.07	.18	.33	.21	.40	.22	.12	.21	.17
ublažavanje klimatskih ekstrema	.16	.19	.22	.10	.09	.06	.25	.08	.12	.09	.11	.07	.20
očuvanje faune	.15	.19	.11	.25	.29	.35	.06	.25	.10	.21	.20	.25	.14
kvaliteta okoliša i bioraznočnost	.07	.27	.12	.17	.09	.11	.06	.18	.07	.30	.34	.18	.11
ekološka poljoprivreda	.06	.05	.03	.04	.09	.05	.05	.03	.02	.04	.04	.03	.05
estetska vrijednost	.05	.02	.02	.03	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.04	.02	.06
rekreacija, zdravstvo, turizam	.02	.12	.03	.05	.16	.11	.01	.05	.04	.02	.03	.05	.08

TABLICA 2. Individualno rangiranje OKFŠ od strane eksperata.

RANGIRANJE ZONA

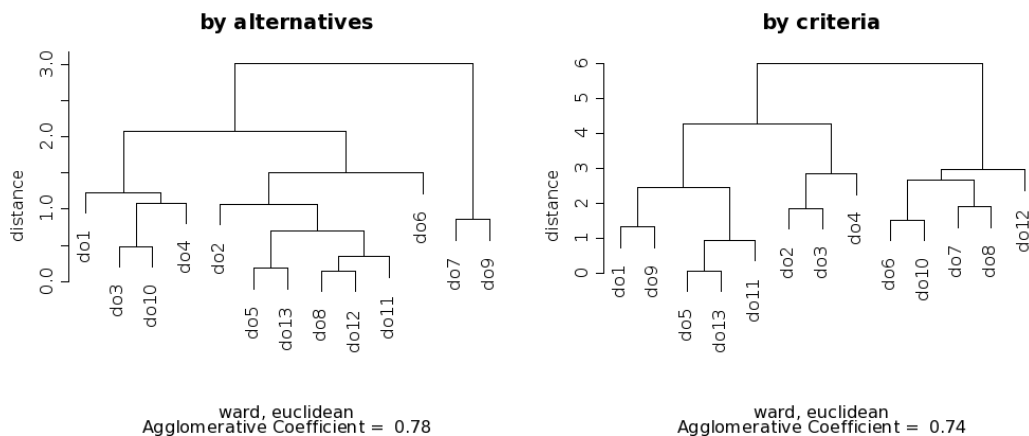
OKFŠ	rang		
	cijela grupa [[$(X + m) * 3$]	konzistentni DO	inkonzist. < 20°
očuvanje faune	0.204 [8.0]	0.218	0.210
zaštita od erozije	0.196 [7.8]	0.185	0.184
uravnoteženje vodnog sustava	0.175 [7.3]	0.178	0.180
kvaliteta okoliša i bioraznolikost	0.157 [6.8]	0.145	0.142
ublažavanje klimatskih ekstrema	0.131 [6.0]	0.127	0.134
rekreacija, zdravstvo, turizam	0.057 [2.5]	0.065	0.066
ekološka poljoprivreda	0.047 [1.6]	0.051	0.051
estetska vrijednost	0.032 [0.0]	0.031	0.033

TABLICA 3. Grupno rangiranje OKFŠ od strane eksperata.

različitim tokovima preferencija tako da je smisleno računati udaljenost među članovima grupe na temelju njihovih potencijala.

Dobivena matrica udaljenosti poslužila je kao polazište za klasterizaciju grupe. Euklidska i 'taksi' udaljenost, u našem slučaju, daju istu klasterizaciju. Na slici 4 prikazana je klasterizacije grupe donosilaca odluke prema rangovima koje je grupa dala za zone (alternative) i prema rangovima koje je dala za OKFŠ (kriterije). Iz slike je vidljivo da ne postoji oštra polarizacija unutar grupe, jer klasteri nisu na velikoj udaljenosti, i da ne postoji gruba razlika među stavovima pojedinaca jer nema niti jednog izoliranog pojedinca.

Suptilniji pogled na dendrogram klasterizacije, slika 4, sugerira da bi bilo dobro sintetizirati mišljenja i za zonalne klasterne Z1 i Z2 od 4 i 7 donosilaca odluke (s lijeva udesno). To je učinjeno i dobivena su slična rangiranja sa zonama 1A i 1B na vrhu ljestvice, vidi tablicu 4.



SLIKA 4. Klasterizacija grupe prema rangiranju zona i prema rangiranju kriterija (Wardova metoda, euklidska udaljenost). Zonalnih klastera ima 3, a kriterijalnih 2.

ANALIZA ODLUKE GRUPE EXPERATA

	Klasteri				
				Kriterijalni	
OKFŠ				C1	C2
uravnoteženje vodnog sustava	.141	.201	.158	.147	.207
zaštita od erozije	.200	.206	.151	.147	.278
ublažavanje klimatskih ekstrema	.119	.129	.158	.097	.187
očuvanje faune	.223	.199	.180	.266	.119
kvaliteta okoliša i bioraznolikost	.183	.132	.205	.203	.093
ekološka poljoprivreda	.041	.049	.047	.047	.041
estetska vrijednost	.027	.031	.051	.030	.032
rekreacija–zdravstvo–turizam	.066	.053	.051	.064	.043
inkonzistentnost klastera	16.87	12.38	20.30	11.66	17.03
	Zonalni				
ZONE	Z1	Z2	Z3		
1A	.296	.250	.289	.261	.297
1B	.191	.259	.398	.248	.270
2A	.149	.104	.107	.128	.106
2B	.139	.116	.082	.124	.109
3A	.122	.125	.070	.121	.108
3B	.103	.146	.053	.118	.110
inkonzistentnost klastera	8.68	7.14	18.09	8.95	10.69
broj članova u klasteru	4	7	2	8	4

TABLICA 4. Rangovi zona i OKFŠ za razne klasterne.

Također su izračunati rangovi i za dva kriterijalna klastera C1 i C2. Zonalni klaster Z3 sadrži dva donosioca odluke i udaljenost tog klastera od ostalih je bar duplo veća od udaljenosti prethodna dva klastera. Povrh toga i njegova je inkonzistentnost prilično velika, 18.09°. To sugerira da se suzi grupa donositelja odluke na uniju klastera Z1 i Z2 i izračuna konsenzus za tako suženu grupu. Dobiveni rezultati se nalaze u tablici 5.

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja je, kako je već rečeno, da se ispita relativna važnost zona upravljanja i općekorisnih funkcija šuma uvažavajući iskustvo i znanje ljudi koji svakodnevno obilaze i čuvaju floru i faunu Parka. Svim sudionicima u ovom projektu najtoplije se zahvaljujemo na suradnji i korisnim savjetima koji će zasigurno doprinijeti većoj kvaliteti budućih istraživanja sličnog sadržaja.

Pokazalo se da je izuzetno važno razumijevanje procedure prikupljanja podataka putem uspo-ređivanja u parovima i motivacija za postizanje što veće konzistentnosti ulaznih podataka svakog donosioca odluke. Klasterizacija grupe je vrlo osjetljiva na perturbaciju ulaznih podataka tako

RANGIRANJE ZONA

Z1UZ2		usporedimo s	konzistentni DO	
zone	rang		zone	rang
1A	0.268		1A	0.268
1B	0.233		1B	0.246
3B	0.130		3B	0.132
3A	0.125		3A	0.121
2B	0.125		2B	0.119
2A	0.119		2A	0.114

TABLICA 5. Rangiranje zona za uniju klastera Z1UZ2 i za konzistentnu podgrupu iz tablice 1. Konzistentnih donosioca odluke ima 9, a unija Z1UZ2 ih ima 11.

da se nesavjesno odlučivanje u fazi procjena u parovima uočava kao odstupanje pojedinca od ostalih klastera (eng. outlier). U ovom testiranju nije bilo takvih pojedinaca.

Što se tiče rangiranja zona upravljanja, tablica 1, cijela grupa i podgrupa konzistentnih donosilaca odluke ističu važnost zona 1A i 1B pred ostalim zonama. Međusobne razlike među rangovima preostalih zona su tako male da dodavanje ili oduzimanje jednog donosioca odluke iz grupe utječe na njihov poredak. Jedan od razloga je i relativno mali broj ispitanika, njih 13. Nakon klasterizacije i sužavanja grupe na uniju klastera Z1UZ2 dobiju se rangovi u tablici 5. Ti su rezultati identični onima iz tablice 1 za podgrupu konzistentnih DO. Dakle, taj se rezultat **prihvaća kao grupno rangiranje zona** upravljanja u Parku.

Što se rangiranja OKFŠ tiče, podudarnost u rangiranju za cijelu grupu, za konzistentnu grupu i proširenu konzistentnu grupu je vrlo visoka, v. tablicu 3 tako da bilo koju tablicu možemo uzeti za grupni konsenzus. Prije nego se odlučimo pogledajmo ima li *outliera* u klasterizaciji grupe generiranom rangovima cijele grupe. Slika 4 sugerira dva potencijalna klastera, koji to i nisu zbog male međusobne udaljenosti, pa slobodno možemo reći da je grupa homogena. Rezultati u tabeli 3 za cijelu grupu slobodno se mogu uzeti kao **grupno rangiranje opće korisnih funkcija šuma**. Evo ih još jednom:

Grubi pogled na tablicu pokazuje da su *rekreacija–zdravstvo–turizam, ekološka poljoprivreda i estetska vrijednost šume* manje važni od ostalih OKFŠ. Bez obzira na to što turizam donosi veliku finacijsku dobit on je ovdje izgleda više smetnja nego korist za sadašnju organizacijsku strukturu upravljanja plitvičkim resursima.

5. USPOREDBA ANALIZE REZULTATA ANKETE ZA POSJETIOCE I ZA EKSPERTE.

Dvije su grupe ispitanika koje su dali svoja mišljenja o vrijednostima OKFŠ na području Plitvica. Jedna su grupa bili posjetitelji/turisti a druga grupa su eksperti, zaposlenici u nacionalnom parku Plitvička jezera. Zanimljivo je usporediti rezultate analiza njihovih odgovora.

Odgovori prve grupa ispitanika obrađeni su statističkim metodama i svaka OKFŠ je ocjenjivana na skali odgovora od 1 do 10. Rezultati te analize su prikazani u tablici na slici 5. Na osi apscisa u tablici 5 stoje općekorisne funkcije šuma redom⁶:

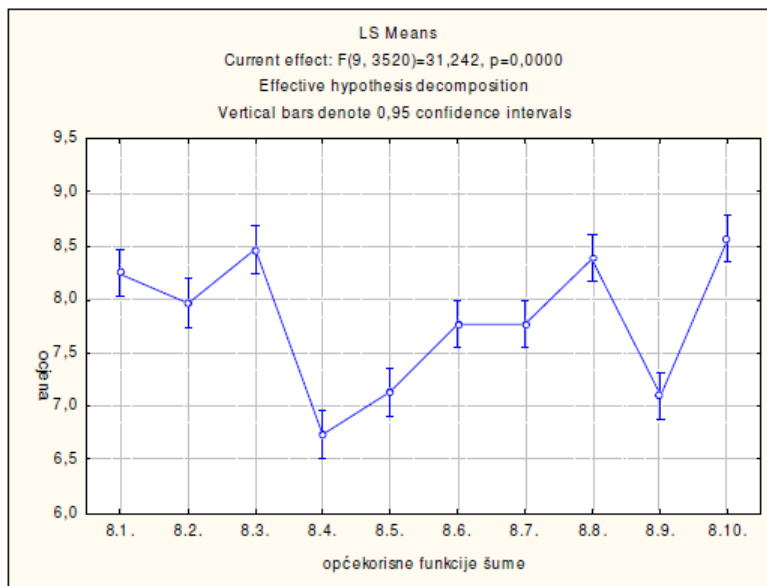
8.1 Utjecaj na vodni režim jezerskog sustava,

⁶Nazivi općekorisnih funkcija šuma su ovdje onakvi kakvi su stajali u upitniku za posjetioce

ANALIZA ODLUKE GRUPE EXPERATA

OKFŠ	rang
	cijela grupa
očuvanje faune	0.204 [8.60]
zaštita od erozije	0.196 [8.44]
uravnoteženje vodnog sustava	0.175 [7.97]
kvaliteta okoliša i bioraznolikost	0.157 [7.52]
ublažavanje klimatskih ekstrema	0.131 [6.78]
rekreacija–zdravstvo–turizam	0.057 [3.37]
ekološka poljoprivreda	0.047 [2.58]
estetska vrijednost	0.032 [1.0]

TABLICA 6. Grupno rangiranje OKFŠ. Za objašnjanje brojeva u zagradi vidi poglavlje 5.



SLIKA 5. Prikaz općekorisnih funkcija šuma prema mišljenju posjetitelja.

- 8.2 Zaštita tla, prometnica i objekata od erozije, bujica i poplava,
- 8.3 Utjecaj šume na klimu,
- 8.4 Rekreativna uloga,
- 8.5 Turistička uloga,
- 8.6 Zdravstvena uloga,
- 8.7 Estetska vrijednost,
- 8.8 Zaštita i povećanje kvalitete okoliša,
- 8.9 Utjecaj na ekološku i poljoprivrednu proizvodnju,
- 8.10 Utjecaj na očuvanje faune,

a na osi ordinata su srednje vrijednosti odgovora na skali 1–10. U upitniku za posjetioce je funkcija *rekreacija-zdravstvo-turizam* radvojena na tri funkcije: *rekreativna*, *zdravstvena* i *turistička*, pa je srednja vrijednost bodova za te tri funkcije uzeta kao bodovna vrijednost za *rekreacija-zdravstvo-turizam*.

Druga grupa ispitanika je svoje odgovore pohranila u bazu podataka preko WEB sučelja i podaci su analizirani metodom potencijala. Rezultati su dani u tablici 6.

U principu je besmisleno uspoređivati rezultate rangiranja i rezultate mjerene na nekoj intervalnoj skali kao što je to slučaj kod posjetitelja. Nešto se ipak može reći uz izvjestan oprez u interpretaciji. Rezultati rangiranja dobiveni su iz potencijala koji pretendira, grubo govoreći, da bude izmjeriva funkcija vrijednosti tj. intervalna skala. Afinom transformacijom potencijala može se naći ekvivalentna 'funkcija vrijednosti' koja ima istu maksimalnu vrijednost jednaku maksimalnoj ocjeni OKFŠ kod posjetilaca, a minimalna je vrijednost fiksirana na vrijednost 1 (jedan). Vrijednost 1 je jedan od mogućih (razumnih) izbora iako se i to može mijenjati. Konačna bodovna vrijednost šume ne mijenja se drastično s promjenom te minimalne vrijednosti.

Jedini je problem što su zakonom propisane granice za pondere OKFŠ u pravilniku o uređivanju šuma (NN 111/06) za svaku funkciju šume drugačiji (v. tablicu 7) i potrebno je dobivene vrijednosti sa skale 1-10 preračunati na te zakonom propisane vrijednosti. Rezultati preračunavanja za obje grupe dani u excel tablici u priloženoj datoteci *vrijednost_sume.xls*. Ukupna suma bodova za cijelo šumsko područje plitvičkog parka iznosi 460000/ha za posjetioce i 390000/ha za eksperte.

6. DODATAK

6.1. Opće korisne funkcije šuma u zakonu. Opće korisne funkcije šuma spominju se u *Zakonu o šumama*, NN 140/05, članak 3 i u *Pravilnik o uređivanju šuma*, NN 111/06 gdje su i vrednovane nekim ponderima te u *Pravilniku o izmjenama i dopunama pravilnika o uređivanju šuma*, NN 121/97 te još nekim aktima.

U članku 3. *zakona o šumama* općekorisne funkcije šuma jesu:

- zaštita tla od erozije vodom i vjetrom,
- uravnoteženje vodnih odnosa u krajobrazu te sprečavanje bujica i visokih vodnih valova,
- pročišćavanje voda procjeđivanjem kroz šumsko tlo te opskrba podzemnih tokova i izvorišta pitkom vodom,
- povoljni utjecaj na klimu i poljodjelsku djelatnost,
- pročišćavanje onečišćenoga zraka,
- utjecaj na ljepotu krajobraza,
- stvaranje povoljnih uvjeta za ljudsko zdravlje,
- osiguranje prostora za odmor i rekreaciju,
- uvjetovanje razvoja ekološkoga, lovnog i seoskoga turizma,
- očuvanje genofonda šumskoga drveća i ostalih vrsta šumske biocenoze,
- očuvanje biološke raznolikosti genofonda, vrsta, ekosustava i krajobraza,
- podržavanje opće i posebne zaštite prirode (nacionalni parkovi i dr.) šumovitog krajobraza,
- ublažavanje učinka »staklenika atmosfere« vezivanjem ugljika te obogaćivanje okoliša kisikom,
- opća zaštita i unapređivanje čovjekova okoliša postojanjem šumskih ekosustava kao biološkoga kapitala velike vrijednosti te
- značenje u obrani zemlje i razvoju lokalnih zajednica.

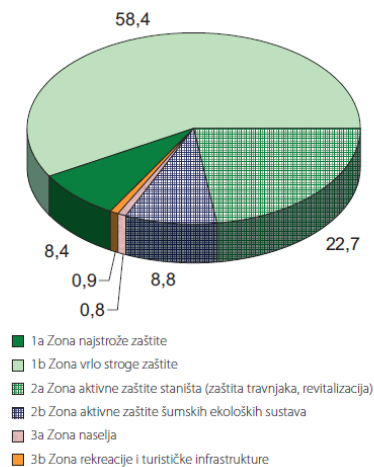
Neke od tih OKFŠ su i ponderirane u Prilogu 4, *Pravilnika o uređivanju šuma* na sljedeći način:

ANALIZA ODLUKE GRUPE EXPERATA

OKFŠ	Raspon ocjena
zaštita tla, prometnica i drugih objekata od erozije, bujica i poplava	1 – 5
utjecaj na vodni režim i hidroenergetski sustav	1 – 4
utjecaj na plodnost tla i poljodjelsku proizvodnju	1 – 4
utjecaj na klimu	1 – 4
zaštita i unapređenje čovjekova okoliša	0 – 3
stvaranje kisika i pročišćivanje atmosfere	1 – 3
rekreativna, turistička i zdravstvena funkcija	1 – 4
utjecaj na faunu i lov	0 – 4
zaštitne šume i šume s posebnom namjenom	8 – 10

TABLICA 7. Ponderi OKFŠ u *Pravilniku o uređivanju šuma*, NN 111/06.

6.2. **Detaljan opis zona upravljanja.** Na slici 6 prikazan je udio pojedinih zona u površini Parka, a u tabeli 8 dan je detaljan opis svake pojedine zone. Korišteni su podaci iz plana upravljanja [5].



SLIKA 6. Udio pojedinih zona u površini Parka.

RANGIRANJE ZONA

Zona		Pov. (ha)	Postotak
Zona 1 — Zona stroge zaštite		19.761	66.9 %
1A) Zona najstrože zaštite Područja najstrože zaštite u kojima je dopušteno provoditi znanstvena istraživanja, praćenje stanja (monitoring), nadzor i intervencije u izvanrednim okolnostima, pristup posjetiteljima nije dozvoljen.	Područje		8.4 %
	1 – Posebni šumski rezervat u Ćorkovoj uvali	278	
	2 – Selški vrh	417	
	3 – Crni vrh	115	
	4 – Klik	417	
	5 – Rječica-Proščanski vrh	1357	
	6 – Medveđak	186	
1B) Zona vrlo stroge zaštite Područja vrlo stroge zaštite u kojima je dopušteno vršiti znanstvena istraživanja, pristup posjetiteljima ograničen.	7 – šumski prostor unutar Nacionalnog parka	17281	58.4 %
Zona 2 — Zona aktivne zaštite		9.348	31.5 %
2A) Zona aktivne zaštite staništa Područja aktivne zaštite staništa (zaštita travnjaka, revitalizacija).	Područje		22.7 %
	8 – Brezovačko i Homoljačko polje	2.876	
	9 – Vrela i Rudanovci	524	
	10 – Čuić Krčevina	294	
	Travnjačke površine	3.035	
2B) Zona aktivne zaštite šumskih ekoloških sustava	11 – Kosa	2.407	8.8 %
	12 – Brezovačko polje	212	
Zona 3 — Zona korištenja		503	1.7 %
3A) Zona naselja	Područje		0.8 %
	Područje sela i zaseoka te prostor koji ih neposredno okružuje	226	
3B) Zona rekreacije i turističke infrastrukture	13 – Područje posjetiteljske i turističke infrastrukture, prirodnih i kulturnih vrijednosti	277	0.9 %
SVEUKUPNO			100 %

TABLICA 8. Područja zona upravljanja u Parku.

LITERATURA

- [1] Čaklović, L. and Šego, V. (2002) *Potential Method applied on exact data*, Proceedings of 9th International Conference on Operational Research KOI2002, Trogir, Croatia, October 2–4, pp.237–248
- [2] Čaklović, L.(2003), *Graph distance in multicriteria decision making context*, Metodološki zvezki (Advances in Methodology and Statistics), 19, 25–34
- [3] Čaklović, L.(2009), *An IO–Modification of Potential Method*, Electronic Notes in Discrete Mathematics, Elsevier, 33 (2009), 131–138
- [4] French S. (1986) *Decision theory, An Introduction to the Mathematics of Rationality*, Ellis Horwood Limited, Chichester
- [5] Ministarstvo kulture Republike Hrvatske, *Nacionalni park Plitvička jezera, plan upravljanja*, Plitvička jezera, listopad, 2007
- [6] Saaty T.L.(1996) *The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh
- [7] von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1947) *Theory of games and economic behavior*, Princeton, NJ: Princeton University Press.

PMF MATEMATIČKI ODJEL, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
E-mail address: caklovic@math.hr

ŠUMARSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
E-mail address: posavec@sumfak.hr