Ocenjevanje primestnih naravnih območij z indeksom rekreacije, ki temelji na mehki logiki

Petra Grošelj, Lidija Zadnik Stirn
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana
petra.groselj@bf.uni-lj.si; lidija.zadnik@bf.uni-lj.si

Izvleček

Rekreacija v naravnem okolju pozitivno vpliva na življenje ljudi. Zato je za ljudi, ki živijo v mestih ali večjih krajih, pomembno, kakšne možnosti za rekreacijo v naravi imajo na voljo. Za ocenjevanje primernosti območja za rekreacijo smo razvili indeks rekreacije. Model, s katerim izračunamo indeks rekreacije za posamezno območje, temelji na mehki logiki in pravilih sklepanja če–potem in je sestavljen iz treh faz. V prvi fazi pretvorimo številske vrednosti vhodnih parametrov v lingvistične spremenljivke, za katere določimo funkcije pripadnosti. V drugem koraku definiramo pravila če-potem, ki s pomočjo mehkih operatorjev združijo parametre v skupine parametrov in te v končni indeks. V tretjem koraku pretvorimo lingvistično vrednost indeksa v številsko. Uporabo indeksa rekreacije smo prikazali na gozdu Panovec pri Novi Gorici in gozdu Šumberk z reko Kamniško Bistrico pri Domžalah. Rezultati kažejo, da je vrednost indeksa rekreacije za Šumberk s Kamniško Bistrico večja kot vrednost indeksa rekreacije, ki pripada gozdu Panovec, predvsem zaradi dobrega vzdrževanja objektov in vlaganj v razvoj.
Ključne besede: indeks rekreacije, mehka logika, logična pravila sklepanja, rekreacija, Panovec, Šumberk, Kamniška Bistrica.

Abstract

Estimating Natural Areas Near Bigger Settlements with Recreational Index Based on Fuzzy Logic

Recreation in the natural environment has a positive impact on people's well-being. Therefore, good recreation possibilities for people who live in cities are important. For assessing the suitability of a recreation area we have developed a recreational index. The model for generating the recreational index consists of three steps and is based on fuzzy logic and IF-THEN inference rules. In the first step the empirical values of the parameters are transformed into linguistic variables and their membership functions are defined. The second step characterizes IF-THEN rules between linguistic variables and outputs. In the third step a defuzzification process of the final linguistic result into empirical values is used. In the paper we present the recreational index for two areas: the Panovec forest in the vicinity of Nova Gorica and the Šumberk forest with the Kamniška Bistrica river near Domžale. The results show that in the case of Šumberk with the Kamniška Bistrica the value of the recreational index is higher compared to the value of the recreational index for Panovec, mainly due to good maintenance of the facilities and investments in development.
Key words: recreational-index, fuzzy logic, inference rules, recreation, Panovec, Šumberk, Kamniška Bistrica.

1 UVOD

Narava v okolici mest in večjih krajev ima pomembno vlogo. Običajno so to gozdovi, travne površine in reke s svojo obrežno vegetacijo. Predvsem gozdovi in vodotoki vplivajo na življenje ljudi s svojo okoljsko vlogo, ki se je velikokrat niti ne zavedamo. Zagotavljajo življenjsko okolje za živalske in rastlinske vrste, vplivajo na podnebje in čistost zraka ter posredno vplivajo na zdravje ljudi. Narava ljudem zagotavlja prostor za oddih in odmik od vsakdanjega stresa, ponuja estetski užitek in ustvarja prijetno okolje za različne zunanje dejavnosti, med katerimi je na prvem mestu rekreacija. Seveda pa niso vse naravne površine enako primerne za rekreacijo in ne zagotavljajo uporabniku enake stopnje zadovoljstva. Zato je pomembno, da znamo oceniti, kako primerno je posamezno območje za rekreacijo, in da lahko različna območja primerjamo med seboj. Modelov, ki bi to omogočali, v literaturi nismo zasledili.

Zato je namen tega prispevka ovrednotenje primestnih naravnih površin glede primernosti za rekreacijo z vidika uporabnika. Postavili smo večkriterijski model, ki omogoča ocenjevanje zelenih površin. Končni rezultat modela je indeks, ki na lestvici od 1 do 100 izrazi, kako primerno je ocenjevano območje z vidika rekreacije. Ta oblika končnega rezultata je ustrezna tudi za primerjave različnih območij.

Narava je kompleksen sistem, za katerega ne

poznamo točnih vrednosti različnih parametrov oziroma se ti ves čas spreminjajo ali pa so nemerljivi in jih lahko ocenimo samo subjektivno. Eden izmed primernih konceptov za reševanje tovrstnih problemov, to je vrednotenje naravnih sistemov, je mehka logika (Zadeh, 1965). Ta omogoča, da v model vključimo tako kvantitativne kot kvalitativne parametre, nelinearne, nedoločene in subjektivne podatke, ki odražajo človeško mišljenje in znanje strokovnjakov. Končni rezultat takega modela je indeks, izražen v jeziku, ki je razumljiv tudi nestrokovnjakom (Silvert, 2000).

V literaturi najdemo za reševanje okoljskih problemov različne modele, ki vključujejo mehko logiko (Chau, 2006). Tu izpostavljamo samo nekaj modelov, katerih rezultat je okoljski indeks. Peche in Rodriguez (2012) sta razvila splošen indeks za analizo kakovosti okolja, ki omogoča nadgradnjo v bolj specifične okoljske indekse. Lermontov idr. (2009) so predstavili indeks za ocenjevanje kakovosti vode, Gharibi idr. (2012) pa so podoben indeks prilagodili ocenjevanju kakovosti površinskih vod z vidika njene pitnosti. Več avtorjev je raziskovalo kakovost zraka in vsebnost strupenih delcev v urbanih okoljih (Carbajal-Hernández idr., 2012; Sowlat idr., 2011). Razviti so bili tudi indeksi za ocenjevanje stanja gozda (Ochoa-Gaona idr., 2010) in degradacije območja po požaru (Melendez-Pastor idr., 2013). Podobni modeli so bili razviti tudi v Sloveniji s pomočjo metode DEX: za analizo učnih poti (Arsenijević, 2006), za nadzor kakovosti pitne vode (Trdin idr., 2013), za ocenjevanje travniških nasadov (Pamič, 2009), ovrednotenje naložb v bioplinarne (Papler & Bojnec, 2013), oceno načina pridelave zelenjave v zaščitenem prostoru (Pozderec & Pažek, 2013). Večparametrska metoda DEX (Bohanec, 2006; Bohanec idr., 2012) omogoča hierarhično strukturo parametrov, ki jih ocenjujemo z lingvističnimi spremenljivkami. Njena pomanjkljivost v primerjavi z modeli mehke logike je v tem, da poleg vrednotenja z lingvističnimi spremenljivkami ne omogoča tudi številskega vrednotenja parametrov in končnega rezultata.

V prispevku predstavljamo model za izračun indeksa rekreacije. Najprej generiramo parametre okolja, ki vplivajo na rekreacijo, jih nato s pomočjo mehke logike združimo v skupine parametrov in na koncu v skupni indeks, ki izraža primernost ocenjevanega območja za rekreacijo. Model preverimo na dveh primerih. Obravnavamo Panovec, ki je mestni gozd Nove Gorice, in Šumberk skupaj z reko Kamniško Bistrico, ki pomeni zeleno os Domžal. S tem pokažemo, da je model primeren za uporabo v praksi. Predstavljeni model lahko služi tudi kot pomoč pri razvoju podobnih okoljskih indeksov.

Prispevek je zgrajen tako, da uvodu sledi razdelek Metode, v katerem najprej predstavimo koncept mehke logike in nato prikažemo, kako oblikujemo indeks primernosti primestne naravne površine za rekreacijo. V tretjem razdelku na dveh primerih prikažemo uporabo modela, v četrtem pa predstavimo rezultate obeh primerov. Prispevek končamo s sklepi.

2 METODE

2.1 Razvoj indeksa s pomočjo mehke logike

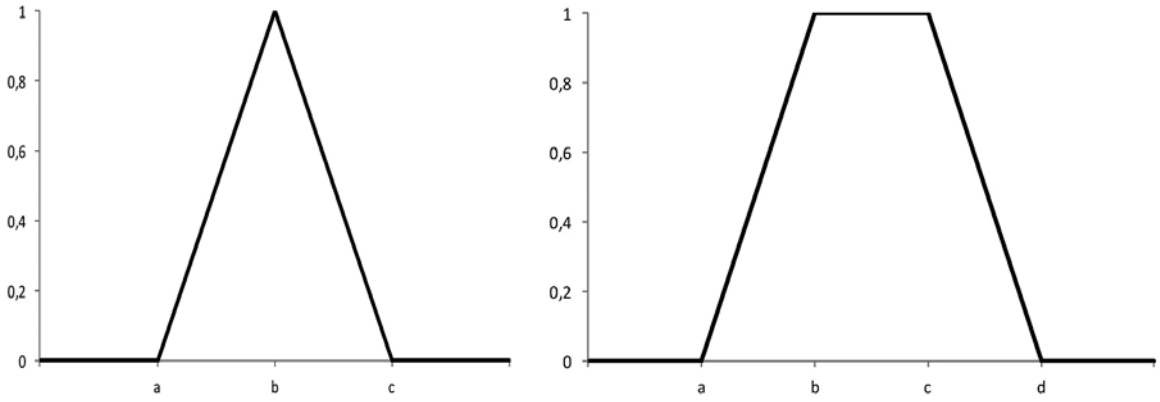
V običajni logiki so izjave lahko napačne ali pravilne, kar izrazimo z vrednostmi 0 ali 1. Mehka logika pa dovoljuje tudi vmesne vrednosti na intervalu [0,1], ki izražajo delno pravilnost izjav. Osnovni pojem mehke logike je funkcija pripadnosti, s katero predstavimo mehko množico. Pri običajnih množicah element pripada množici (pripadnostna funkcija ima vrednost 1) ali pa ne pripada množici (pripadnostna funkcija ima vrednost 0). Mehko množico A predstavimo s funkcijo pripadnosti $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$, $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$, kjer $\mu_A(x) = 0$ pomeni, da x ne pripada množici A in, $\mu_A(x) = 1$, da x pripada množici A. Če je $0 < \mu_A(x) < 1$, potem x delno pripada množici A (Ross, 2004; Zadeh, 1965). Funkcije pripadnosti so lahko različnih oblik. Najbolj pogoste so trikotne oblike (slika 1)

$$f(x;a,b,c) = \begin{cases} 0, & x < a, x > c \\ \frac{a-x}{a-b}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c \end{cases}$$

in trapezne oblike (slika 1)

$$f(x;a,b,c,d) = \begin{cases} 0, & x < a, x > d \\ \frac{a-x}{a-b}, & a \leq x \leq b \\ 1 & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d \end{cases}$$

pri čemer so $a \leq b \leq c \leq d$ izbrani skalarji, ki predstavljajo parametre pripadnosti.



Slika 1: **Trikotna in trapezna oblika pripadnostne funkcije**

Osnova indeksa, ki temelji na mehki logiki, so trije koraki.

1. Najprej definiramo strukturo modela, ki je sestavljena iz več ravni parametrov. Za vsak parameter definiramo lingvistične spremenljivke, ki so podane z izrazi iz naravnega jezika, ki omogočajo primerjavo: slab, primeren, dober, odličen, ustrezen itn. Lingvistične spremenljivke so mehke množice, zato za vsako lingvistično spremenljivko definiramo funkcijo pripadnosti, ki omogoča, da številske vrednosti pretvorimo v lingvistične spremenljivke.
2. V drugem koraku definiramo pravila logičnega sklepanja če–potem. Ta pravila so namenjena združevanju parametrov. Vsaki kombinaciji lingvističnih spremenljivk parametrov priredijo končni rezultat v enem izmed možnih končnih stanj.
3. V tretjem koraku končni lingvistični rezultat pretvorimo v številsko vrednost.

S pomočjo funkcij pripadnosti za mehke množice v prvem koraku za vsak parameter definiramo lingvistične spremenljivke, ki jih ne sme biti preveč, da model ne postane preobsežen. Običajno uporabimo od dve do pet lingvističnih spremenljivk za en parameter, manj na nižjih in več na višjih ravneh. V prispevku smo uporabili za vsak parameter tri lingvistične spremenljivke.

Funkcije pripadnosti parametrov na isti ravni, ki so izražene s pomočjo mehkih množic, združujemo z mehkimi operatorji (Ross, 2004). Osnovne operacije lahko izrazimo s temi mehkimi operatorji:

PRESEK (IN): $\mu_{A\cap B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$

UNIJA (ALI): $\mu_{A\cup B}(x) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$

NEGACIJA (NE): $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

V drugem koraku med različnimi ravnmi parametrov definiramo pravila sklepanja če–potem, ki so sestavljena iz pogoja (del če) in posledice (del potem) in jih zapišemo v obliki:
ČE je P enako p, POTEM je Q enako q,

kjer sta p in q vrednosti lingvističnih spremenljivk P oziroma Q. Mehki operator IN uporabimo v delu če, če je ta sestavljen iz n pogojev.

ČE je (P_1 enako p_1 IN P_2 enako p_2 IN ... IN P_n enako p_n), POTEM je Q enako q,

kjer so p_1, p_2, ..., p_n vrednosti pripadajočih lingvističnih spremenljivk P_1, P_2, ..., P_n. Rezultate z istimi vrednostmi lingvističnih spremenljivk združimo z mehkim operatorjem ALI.

ČE je (P1 enako p1 IN (P_2 enako $p_2^{(1)}$ ALI $p_2^{(2)}$ ALI ... ALI $p_2^{(m)}$)), POTEM je Q enako q,

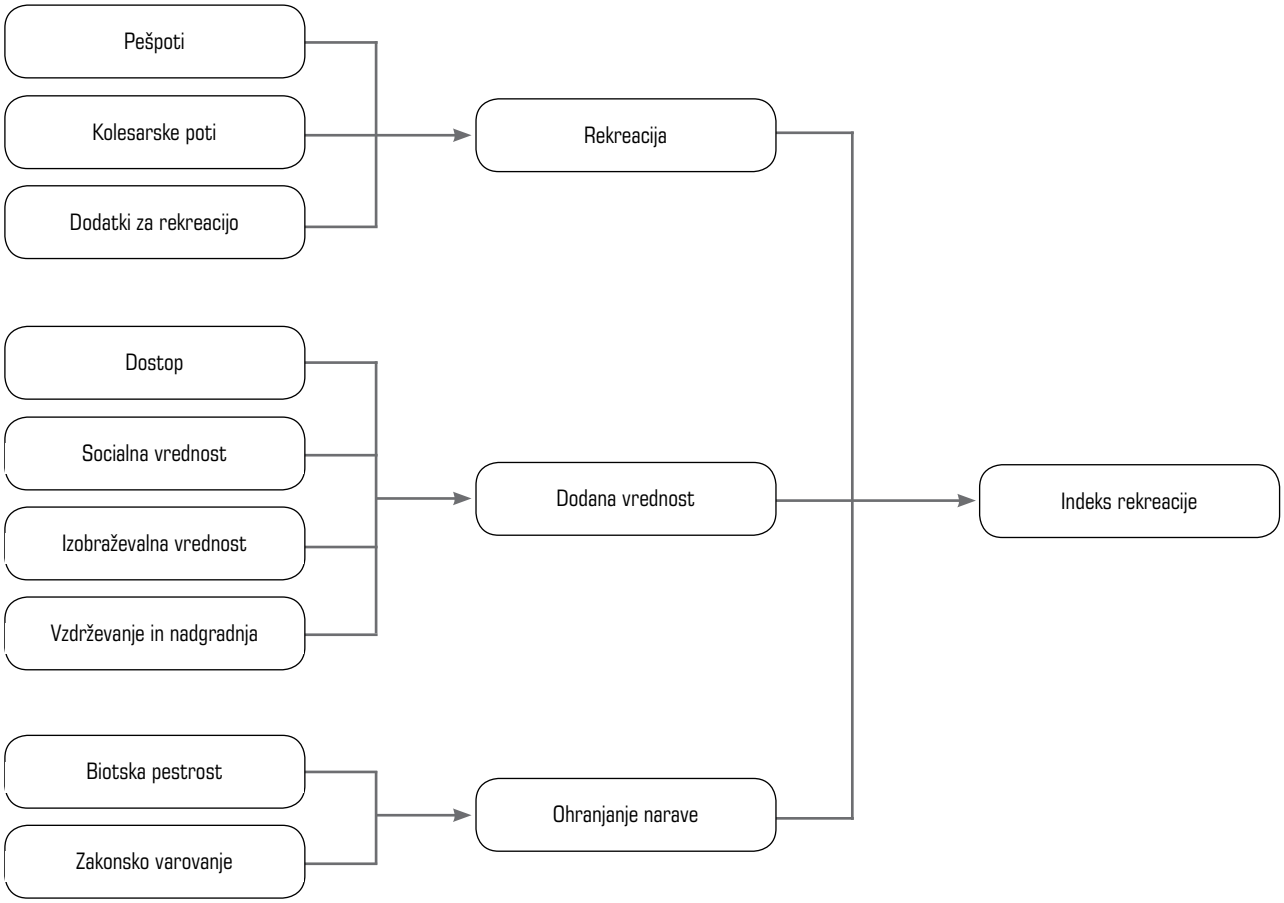
kjer so $p_2^{(1)}$, $p_2^{(2)}$, ..., $p_2^{(m)}$ različne vrednosti, ki jih lahko zavzame lingvistična spremenljivka P_2.

V tretjem koraku nato končno vrednost indeksa, izraženo z lingvističnimi spremenljivkami, pretvorimo nazaj v številsko vrednost. To lahko storimo na več načinov (Gharibi idr., 2012). Najpogosteje se uporablja metoda središča gravitacije (Ross, 2004), ki je definirana z enačbo

$$x^* = \frac{\int \mu(x)\,x\,dx}{\int \mu(x)\,dx}$$

2.2 Indeks za ocenjevanje primernosti primestne naravne površine za rekreacijo

Strukturo indeksa smo zasnovali v treh ravneh (slika 2). Na temeljni ravni so parametri, za katere moramo za vsako območje oceniti kvantitativne ali kvalitativne podatke. Na drugi ravni parametre prve ravni združimo v tri skupine glede na njihovo sorodnost: v prvo skupino združimo parametre, ki vplivajo neposredno na rekreacijo, v drugo skupino parametre, ki dajejo rekreaciji dodano vrednost, in v tretjo parametre, ki vplivajo na ohranjenost narave. Pri tem smo določili, da je prva skupina najpomembnejša, sledi ji druga skupina parametrov, tretja skupina pa je najmanj pomembna. Tretjo raven dobimo z združevanjem skupin parametrov na drugi ravni in pomeni parameter, imenovan indeks rekreacije. Za vsak vhodni parameter, skupino parametrov in indeks rekreacije definiramo tri lingvistične spremenljivke, ki pomenijo v mehki logiki »slabo«, »srednje« in »dobro« stanje parametra oziroma indeksa (sliki 3 in 4). Za srednjo lingvistično spremenljivko (»srednje« stanje) smo izbrali trikotno funkcijo pripadnosti (1), za preostali dve lingvistični spremenljivki pa trapezno (2) (tabela 1).



Slika 2: **Struktura parametrov za izračun indeksa primernosti primestne naravne površine za rekreacijo**

S parametri prve skupine prve ravni ocenjujemo, kakšne so možnosti za rekreacijo na ocenjevanem območju. Pri tem se osredinimo predvsem na glavne zvrsti rekreacije v naravnem okolju, kot so hoja, tek in kolesarjenje. Določimo tri parametre. Prvi parameter »pešpoti« ovrednoti dolžino vseh pešpoti na ocenjevanem območju. Parameter »kolesarske poti« ocenjuje dolžino kolesarskih poti. Oba parametra merimo v kilometrih. Tretji parameter poimenujemo »dodatki«; ta ocenjuje, koliko dodatnih možnosti ponuja okolje: trim steza, orodja za zunanji fitnes, druga orodja za telovadbo idr. Pri tem nič ali en dodatek pomeni slabo stanje, dva dodatka srednje stanje in več dodatkov dobro stanje parametra. Vsi parametri niso enako pomembni, ocenili smo, da je parameter »pešpoti« pomembnejši od parametrov »kolesarske poti« in »dodatki«, ki sta enakovredna. Pomembnost parametrov vpliva na rezultate združevanja parametrov v skupine. Pomembnejši parameter ima večji vpliv na rezultat pravil sklepanja če–potem.

Dodano vrednost sestavljajo štirje parametri, ki rekreaciji dodajo vsak svojo vrsto dodane vrednosti. Parameter »dostop« ocenjuje, kakšne so možnosti dostopa do območja za rekreacijo peš, s kolesom, parkirišča za avtomobile, avtobusni dostop. Slab dostop pomeni, da ni avtobusne linije in parkirišča za avtomobile ter je območje od središča kraja oddaljeno več kot 2 km. Dober dostop pomeni, da je v bližini parkirišče ali avtobusna postaja, peš pa je območje oddaljeno manj kot 1 km. Ovrednotimo ga z vrednostmi med 0 in 100. Parameter »socialna vrednost« ovrednoti število in pestrost objektov, ki naredijo območje prijetnejše za druženje in socialne stike: počivališča s klopmi, pitniki, prostori za piknik, otroška igrišča ipd. »Izobraževalno vrednost« dodajo območju vsi načini, ki obiskovalcem omogočajo dodatno izobraževanje, običajno povezano z naravnim okoljem. Stanje dobro pomeni gozdna učna pot, stanje srednje pa informacijske table, zloženke ter informacije o območju, dostopne prek interneta. Parameter »vzdrževanje in nadgradnja« ocenjuje, kako so poti in rekreacijska infrastruktura vzdrževane in kolikšno je vlaganje v nadaljnji razvoj območja glede rekreacije. Dobro vzdrževanje pomeni srednjo vrednost parametra, vrednost parametra »dobro« pa poleg dobrega vzdrževanja zahteva vsaj načrte za nadaljnja vlaganja. Vse parametre skupine »dodana vrednost« merimo na lestvici od 0 do 100. Ocenili smo, da je parameter »vzdrževanje in nadgradnja« pomembnejši od drugih treh parametrov v tej skupini, ki so med sabo enakovredni.

Tretji sklop parametrov sestavljajo parametri, povezani z ohranjanjem narave. Za zagotavljanje dolgoročne primernosti območja za rekreacijo je treba trajnostno skrbeti za naravo. Parameter »biotska pestrost« ocenjuje, kolikšna je biotska pestrost živalskih in rastlinskih vrst na tem območju in kako območje omogoča ohranjanje biotske pestrosti. Rekreacijsko

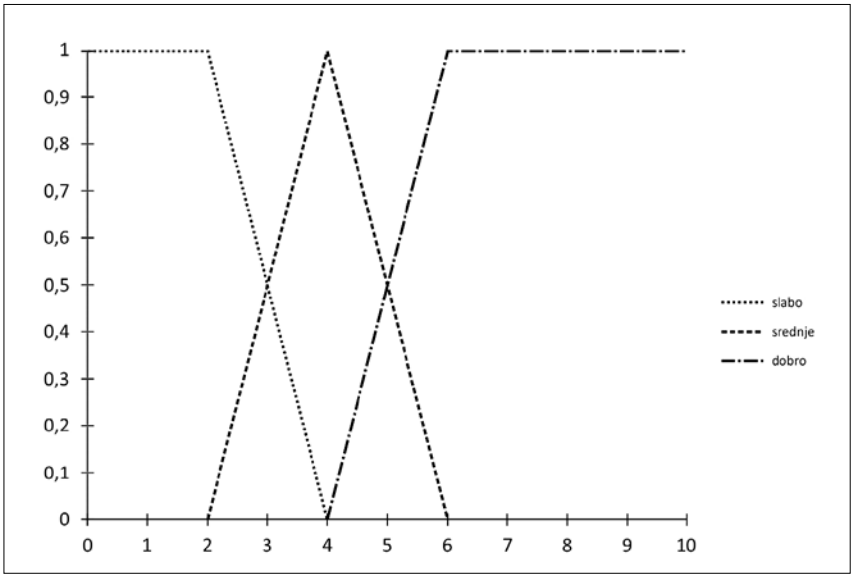
Tabela 1: **Lingvistične spremenljivke in njihove robne vrednosti a, b, c, d za funkcije pripadnosti trapezne oblike (2) oziroma a, b, c za funkcije pripadnosti trikotne oblike (1), ki pripadajo posameznim parametrom, skupinam parametrov in indeksu rekreacije**

Parametri		**a = b**	**c**	**d**		**a**	**b**	**c**		**a**	**b**	**c = d**
Pešpoti	slabo	0	2	4	srednje	2	4	6	dobro	4	6	10
Kolesarska pot	slaba	0	5	8	srednje	5	8	12	dobro	8	12	20
Dodatki za rekreacijo	malo	0	1	2	srednje	1	2	3	veliko	2	3	5
Dostop	slab	0	25	50	srednje dober	25	50	75	dober	50	75	100
Socialna vrednost	slaba	0	25	50	srednja	25	50	75	dobra	50	75	100
Izobraževalna vrednost	slaba	0	25	50	srednja	25	50	75	dobra	50	75	100
Vzdrževanje in nadgradnja	slabo	0	25	50	srednje	25	50	75	dobro	50	75	100
Biotska pestrost	majhna	0	25	50	srednja	25	50	75	velika	50	75	100
Zakonsko varovanje	ne	0	25	50	v načrtu	25	50	75	da	50	75	100
Rekreacija	slabo	0	25	50	srednje	25	50	75	dobro	50	75	100
Dodana vrednost	slabo	0	25	50	srednje	25	50	75	dobro	50	75	100
Ohranjanje narave	slabo	0	25	50	srednje	25	50	75	dobro	50	75	100
Indeks rekreacije	slabo	0	25	50	srednje	25	50	75	dobro	50	75	100

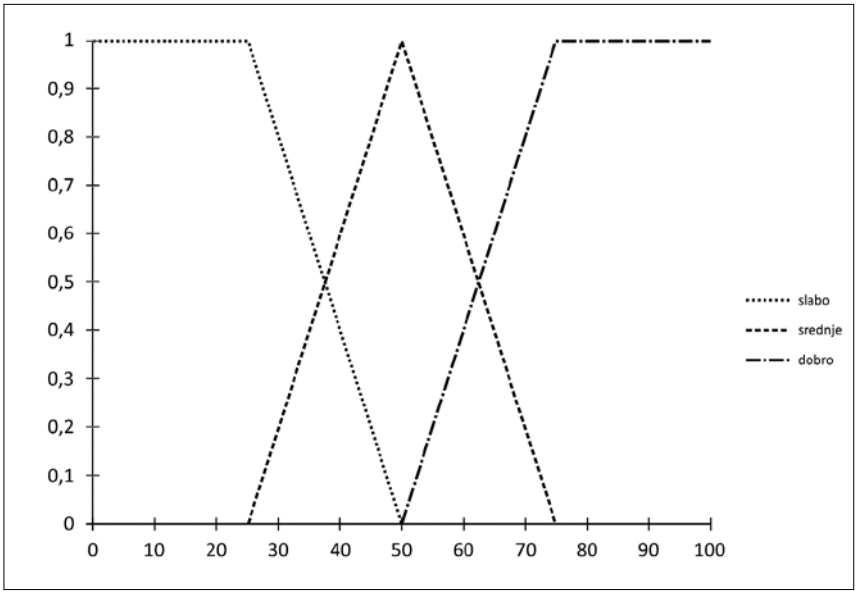
primerno območje privablja večje število obiskovalcev, kar lahko negativno vpliva na biotsko pestrost. Na vrednost parametra vpliva število rastlinskih in živalskih vrst na tem območju ter ali ima območje na katerem od svojih delov zelo poudarjeno biotopsko funkcijo oziroma je del območja gozdni rezervat. Drugi parameter v tej skupini je »zakonsko varovanje«, s katerim preverjamo, ali je območje zakonsko zaščiteno. Najpogostejša oblika zaščite je odlok o razglasitvi gozda s posebnim namenom. Tudi v tej skupini oba parametra merimo na lestvici od 0 do 100, parameter »biotska pestrost« pa je pomembnejši od »zakonskega varovanja«.

V tabeli 1 so prikazana imena lingvističnih spremenljivk za vsak parameter in skupino parametrov ter meje, ki definirajo vsako lingvistično spremenljivko. Lingvistične spremenljivke so urejene od najslabše vrednosti do najboljše.

Na sliki 3 so prikazane funkcije pripadnosti za parameter pešpoti, na sliki 4 pa za parameter socialna vrednost.



Slika 3: **Funkcija pripadnosti za parameter pešpoti**



Slika 4: **Funkcija pripadnosti za parameter socialna vrednost**

Pravila sklepanja določimo za združevanje parametrov v skupine in za združevanje skupin parametrov v indeks rekreacije. Pri tem smo uporabili mehke operatorje (3), (4) in (5). Pri združevanju parametrov v skupino rekreacija upoštevamo, da imajo največji vpliv pešpoti, vpliv kolesarskih poti in dodatkov za rekreacijo pa je enakovreden. V nabor pravil sklepanja za združevanje parametrov pešpoti, kolesarske poti in dodatki za rekreacijo v parameter rekreacija spada 27 pravil, ki smo jih z operatorjem ALI združili v 16 sestavljenih pravil:

1. ČE ((pešpoti = slabo) IN (kolesarske poti = slabo) IN (dodatki = malo ALI srednje)) POTEM (rekreacija = slabo)
2. ČE ((pešpoti = slabo) IN (kolesarske poti = slabo) IN (dodatki = veliko)) POTEM (rekreacija = srednje)
3. ČE ((pešpoti = slabo) IN (kolesarske poti = srednje) IN (dodatki = malo)) POTEM (rekreacija = slabo)
4. ČE ((pešpoti = slabo) IN (kolesarske poti = srednje) IN (dodatki = srednje ALI veliko)) POTEM (rekreacija = srednje)
5. ČE ((pešpoti = slabo) IN (kolesarske poti = dobro)) POTEM (rekreacija = srednje)
6. ČE ((pešpoti = srednje) IN (kolesarske poti = slabo) IN (dodatki = malo)) POTEM (rekreacija = slabo)
7. ČE ((pešpoti = srednje) IN (kolesarske poti = slabo) IN (dodatki = srednje ALI veliko)) POTEM (rekreacija = srednje)
8. ČE ((pešpoti = srednje) IN (kolesarske poti = srednje) IN (dodatki = malo ALI srednje)) POTEM (rekreacija = srednje)
9. ČE ((pešpoti = srednje) IN (kolesarske poti = srednje) IN (dodatki = veliko)) POTEM (rekreacija = dobro)
10. ČE ((pešpoti = srednje) IN (kolesarske poti = dobro) IN (dodatki = srednje ALI veliko)) POTEM (rekreacija = dobro)
11. ČE ((pešpoti = srednje) IN (kolesarske poti = dobro) IN (dodatki = malo)) POTEM (rekreacija = srednje)
12. ČE ((pešpoti = dobro) IN (kolesarske poti = slabo) IN (dodatki = malo ALI srednje)) POTEM (rekreacija = srednje)
13. ČE ((pešpoti = dobro) IN (kolesarske poti = slabo) IN (dodatki = veliko)) POTEM (rekreacija = dobro)
14. ČE ((pešpoti = dobro) IN (kolesarske poti = srednje) IN (dodatki = malo)) POTEM (rekreacija = srednje)
15. ČE ((pešpoti = dobro) IN (kolesarske poti = srednje) IN (dodatki = srednje ALI veliko)) POTEM (rekreacija = dobro)
16. ČE (pešpoti = dobro) IN (kolesarske poti = dobro) POTEM (rekreacija = dobro)

Podobno kot pravila za združevanje parametrov »pešpoti«, »kolesarske poti« in »dodatki« v parameter »rekreacija« oblikujemo tudi pravila za združevanje štirih parametrov v parameter »dodana vrednost«, parametrov »biotska pestrost« in »zakonsko varovanje« v parameter »ohranjanje narave« in končno združevanje »rekreacije«, »dodane vrednosti« in »ohranjanja narave« v indeks rekreacije. Pri skupini parametrov »dodana vrednost« upoštevamo, da je najpomembnejši dejavnik »vzdrževanje in nadgradnja«, zato ima večji vpliv na vrednost »dodane vrednosti« kot ostali trije parametri, ki so enako pomembni. Pri skupini parametrov, ki jih združimo v parameter »ohranjanje narave«, ima »biotska pestrost« večji vpliv kot »zakonsko varovanje«. Pri združevanju skupin v indeks rekreacije ima največji vpliv »rekreacija«, ki ji sledi »dodana vrednost« in na koncu »ohranjanje narave«, ki pa tudi ni nepomemben parameter. Pri določanju pravil če – potem smo z računalniškim programom DEXi (Bohanec, 2013) preverili tudi njihovo konsistentnost.

Končni rezultat, to je indeks rekreacije, je izražen z lingvističnimi spremenljivkami slabo, srednje in dobro (tabela 1). Ko z metodo središča gravitacije izračunamo številsko vrednost x^*, dobimo rezultat na intervalu [19.4,80.6]. Ker indeks izražamo z vrednostmi od 0 do 100, interval [19.4,80.6] linearno raztegnemo na interval [0,100]. Tako dobimo končno vrednost x^{**} indeksa rekreacije iz x^* z obrazcem:

$$x^{**} = 100 \cdot \frac{x^* - 19,4}{80,6 - 19,4}$$

3 PRIMER

Uporabo indeksa rekreacije prikažemo na dveh primerih: na gozdu Panovec, ki služi za rekreacijo prebivalcem Nove Gorice, in gozdu Šumberk skupaj z reko Kamniško Bistrico, kjer se rekreirajo predvsem prebivalci Domžal.

Gozd Panovec leži na robu mesta Nova Gorica. Njegova površina je 380 ha. Razglas o gozdu s posebnim namenom ga deli na štiri območja. Vzhodni

del nima urejenih poti in je namenjen ohranjanju biotske pestrosti. To sta območje gozdnega rezervata in območje z izjemno poudarjeno biotopsko funkcijo. V gozdu raste več kot sto domačih in tujih drevesnih vrst. Zahodni del Panovca sestavljata območje z izjemno poudarjeno turistično, poučno in raziskovalno funkcijo, kjer se nahaja gozdna učna pot, dolga 1800 m, in območje izjemne poudarjenosti rekreacijske in higiensko-zdravstvene funkcije, kjer poteka trim steza, dolga 2 km. Ob gozdni učni poti so postavljena tri počivališča s klopmi in dva prostora za piknik. Po gozdu poteka 10 km tekaških poti z višinsko razliko 85 m. Urejen je poligon z orodji. Kolesarske poti potekajo v obliki črke T. Njihova skupna dolžina je 3800 m. Največ je v Panovcu tekačev in sprehajalcev (Trkman, 2013), poleg njih pa se tu zadržujejo tudi kolesarji, jahači, gobarji in raziskovalci. Dostop je mogoč iz treh smeri, urejeno je manjše parkirišče. Postavljene so informacijske table, na voljo je zgibanka o Panovcu (MGP) in zgibanka o gozdni učni poti (GUP). V bližnji prihodnosti ne načrtujejo nadaljnjega razvoja rekreacije v Panovcu.

Gozd Šumberk (31,5 ha) poleg Domžal je bil razglašen za gozd s posebnim namenom. Po njem potekata 2 km dolga trim steza in 1,8 km dolga učna pot. Urejena je pot po vznožju Šumberka, kjer se nahajajo počivališča s klopcami, piknik prostor, plezalna stena in parkirišče. Ob Kamniški Bistrici (Vahtar, 2013) po obeh bregovih poteka 14 km peščenih poti, ki so namenjene pešcem in kolesarjem. Urejena sta dva fitnesa na prostem, pet lokacij s telovadnimi orodji in več otroških igrišč. Ob poti so postavljeni pitniki in počivališča s klopcami. Na voljo sta zgibanka in vodnik o gozdni učni poti (Bartol idr., 2007), ob Kamniški Bistrici so postavljene informacijske table. V okviru projekta Kamniška Bistrica kot zelena os regije 2013–2014 je v načrtu ureditev manjkajočih delov poti ob Kamniški Bistrici (Obreza, 2013), več plezalnih smeri na plezalni steni in postavitev športno-igralnega parka, kjer bo možnost rekreacije za vse starostne skupine.

Pri določanju vrednosti vhodnih parametrov smo se oprli na predstavljene podatke. Zapisani so v tabeli 2.

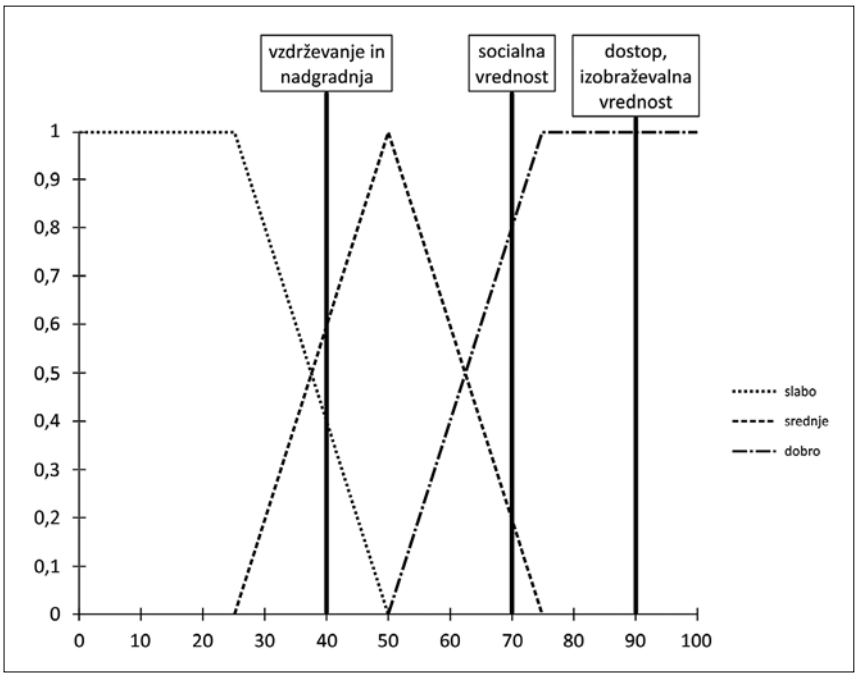
Tabela 2: **Vrednosti vhodnih parametrov za gozd Panovec in gozd Šumberk skupaj s Kamniško Bistrico**

	Panovec	**Šumberk in Kamniška Bistrica**
Pešpoti	10,0	14,0
Kolesarske poti	4,0	14,0
Dodatki za rekreacijo	2	4
Dostop	90	90
Socialna vrednost	70	90
Izobraževalna vrednost	90	90
Vzdrževanje in nadgradnja	40	100
Biotska pestrost	100	50
Zakonsko varovanje	100	100

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Z vhodnimi vrednostmi parametrov izračunamo vrednosti pripadnostnih funkcij za vsako lingvistično spremenljivko (tabela 3). S pomočjo pravil sklepanja nato iz vrednosti lingvističnih spremenljivk za parametre na prvi ravni izračunamo vrednosti lingvističnih spremenljivk za skupine parametrov. Pri tem smo uporabili minimum vrednosti pri mehkem operatorju IN in maksimum pri mehkem operatorju ALI. V primeru, da dobimo za eno lingvistično spremenljivko več rezultatov, jih združimo z mehkim operatorjem ALI. Končne vrednosti lingvističnih spremenljivk za skupine parametrov so navedene v tabeli 3. Na enak način iz vrednosti lingvističnih spremenljivk za skupine parametrov na drugi ravni izračunamo vrednosti lingvističnih spremenljivk za indeks rekreacije (tabela 3).

Oglejmo si izračun na primeru skupine parametrov »dodana vrednost« za Panovec.



Slika 5: **Pretvorba vrednosti vhodnih parametrov v skupini »dodana vrednost« v vrednosti lingvističnih spremenljivk**

Tabela 3: **Vrednosti pripadnostnih funkcij lingvističnih spremenljivk za gozd Panovec in gozd Šumberk skupaj s Kamniško Bistrico za vhodne parametre, skupine parametrov in indeks rekreacije**

	Lingvistične spremenljivke	Panovec	Šumberk in Kamniška Bistrica
Pešpoti	slabo	0,0	0,0
	srednje	0,0	0,0
	dobro	1,0	1,0
Kolesarske poti	slabo	1,00	0,00
	srednje	0,00	1,00
	dobro	0,00	0,00
Dodatki za rekreacijo	malo	0,0	0,0
	srednje	1,0	0,0
	veliko	0,0	1,0
Dostop	slab	0,0	0,0
	srednje dober	0,0	0,0
	dober	1,0	1,0
Socialna vrednost	slaba	0,0	0,0
	srednja	0,2	0,0
	dobra	0,8	1,0
Izobraževalna vrednost	slaba	0,0	0,0
	srednja	0,0	0,0
	dobra	1,0	1,0

	Lingvistične spremenljivke	Panovec	Šumberk in Kamniška Bistrica
Vzdrževanje in nadgradnja	slabo	0,4	0,0
	srednje	0,6	0,0
	dobro	0,0	1,0
Biotska pestrost	majhna	0,0	0,0
	srednja	0,0	1,0
	velika	1,0	0,0
Zakonsko varovanje	ne	0,0	0,0
	v načrtu	0,0	0,0
	da	1,0	1,0
Rekreacija	slabo	0,00	0,00
	srednje	1,00	0,00
	dobro	0,00	1,00
Dodatna vrednost	slabo	0,00	0,00
	srednje	0,40	0,00
	dobro	0,60	1,00
Ohranjanje narave	slabo	0,00	0,00
	srednje	0,00	1,00
	dobro	1,00	0,00
Indeks rekreacije	slabo	0,00	0,00
	srednje	0,40	0,00
	dobro	0,60	1,00

Vrednosti vhodnih parametrov pretvorimo v vrednosti lingvističnih spremenljivk (slika 5): za »dostop« (90): μ_{slab} (90) = 0, $\mu_{srednje\ dober}$ (90) = 0 in μ_{dober} (90) = 1, za »socialno vrednost« (70): μ_{slaba} (70) = 0, $\mu_{srednja}$ (70) = 0,2 in μ_{dobra} (70) = 0,8, za »izobraževalno vrednost« (90): μ_{slaba} (90) = 0, $\mu_{srednja}$ (90) = 0 in μ_{dobra} (90) = 1 in za »vzdrževanje in nadgradnja« (40): μ_{slab} (40) = 0,4, $\mu_{srednje}$ (40) = 0,6 in μ_{dobro} (40) = 0. Nato uporabimo pravila sklepanja če–potem za vse možne kombinacije lingvističnih spremenljivk za štiri parametre. Pravila, ki nam dajo neničelne vrednosti, so:

ČE ((dostop = dober) IN (socialna vrednost = srednja) IN (izobraževalna vrednost = dobra) IN (vzdrževanje in nadgradnja = slabo)) POTEM (dodana vrednost = srednje)

ČE ((dostop = dober) IN (socialna vrednost = srednja) IN (izobraževalna vrednost = dobra) IN (vzdrževanje in nadgradnja = srednje)) POTEM (dodana vrednost = dobro)

ČE ((dostop = dober) IN (socialna vrednost = dobra) IN (izobraževalna vrednost = dobra) IN (vzdrževanje in nadgradnja = slabo)) POTEM (dodana vrednost = srednje)

ČE ((dostop = dober) IN (socialna vrednost = dobra) IN (izobraževalna vrednost = dobra) IN (vzdrževanje in nadgradnja = srednje)) POTEM (dodana vrednost = dobro)

Z uporabo funkcije MIN dobimo vrednosti pripadnostne funkcije za dodano vrednost:

$\mu_{srednja}$ = min(μ_{dober} (90); $\mu_{srednja}$ (70); μ_{dobra} (90); μ_{slabo} (74)) = min(1; 0,2; 1; 0,4) = 0,2

μ_{dobra} = min(μ_{dober} (90); $\mu_{srednja}$ (70); μ_{dobra} (90); $\mu_{srednje}$(40)) = min(1; 0,2; 1; 0,6) = 0,2

$\mu_{srednja}$ = min(μ_{dober} (90); μ_{dobra} (70); μ_{dobra} (90); μ_{slabo}(40)) = min(1; 0,8; 1; 0,4) = 0,4

μ_{dobra} = min(μ_{dober} (90); μ_{dobra} (70); μ_{dobra} (90); $\mu_{srednje}$(40)) = min(1; 0,8; 1; 0,6) = 0,6

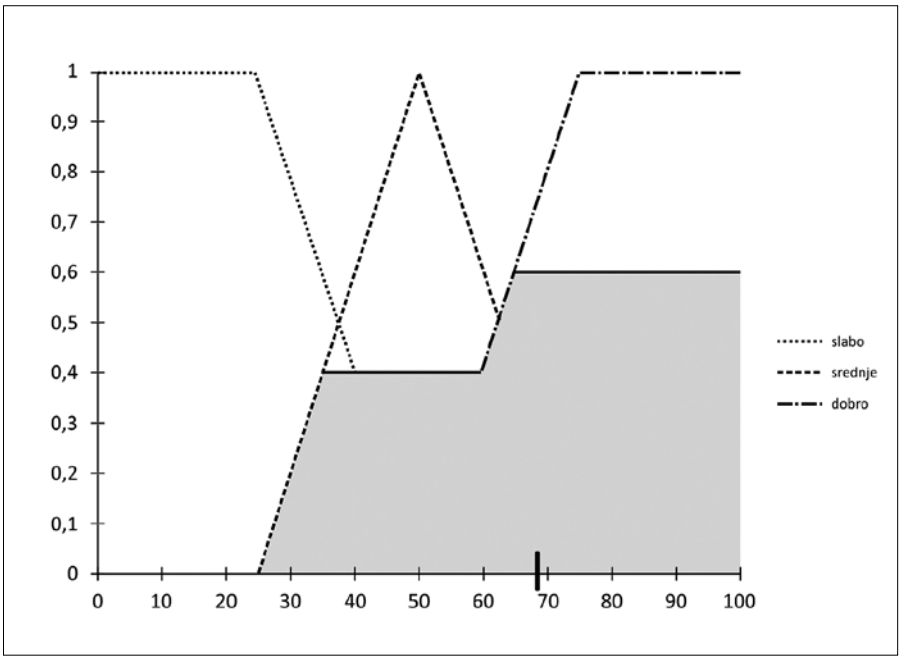
Ker dobimo dve različni vrednosti za lingvistični spremenljivki »srednja« in »dobra«, jih v skupno vrednost združimo z uporabo funkcije ALI:

$\mu_{srednja}$ = max(0,2; 0,4) = 0,4

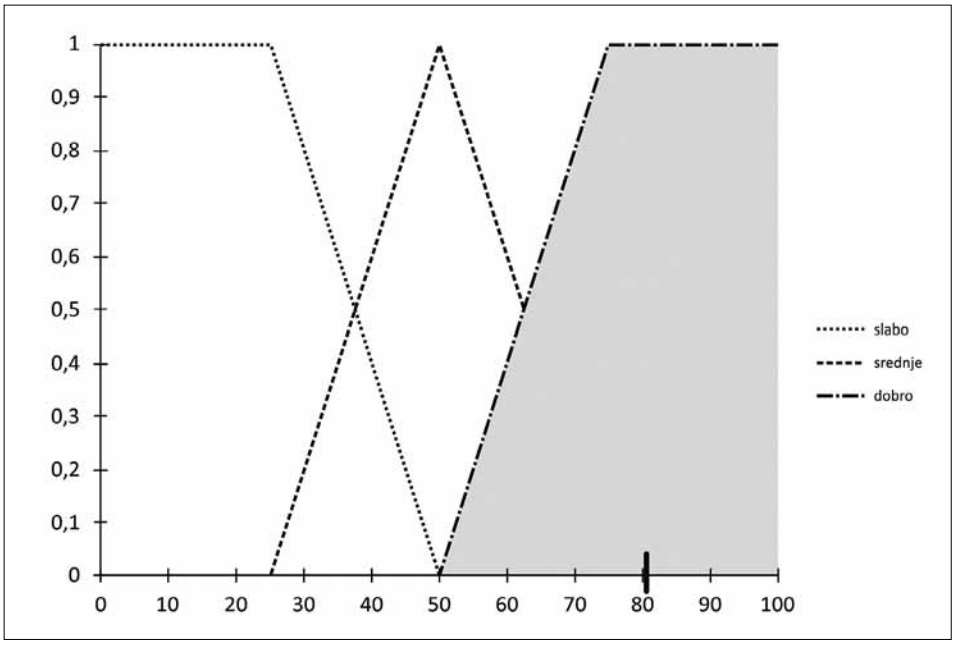
μ_{dobra} = max(0,2; 0,6) = 0,6

Velja še μ_{slaba} = 0.

Indeks rekreacije izračunamo po metodi središča gravitacije z dodanim linearnim raztegom na interval [0,100] (10). Za Panovec smo dobili rezultat x_p^* = 68,4 (slika 6), za Šumberk s Kamniško Bistrico pa $x_Š^*$ = 80,6 (slika 7).



Slika 6: **Končni rezultat in indeks rekreacije za Panovec**



Slika 7: **Končni rezultat in indeks rekreacije za Šumberk in Kamniško Bistrico**

Primer izračuna x^* za Panovec je predstavljen z enačbo:

$$x_P^* = \frac{\int_{25}^{35} \frac{x-25}{25} x dx + \int_{35}^{60} 0,4 x dx + \int_{60}^{65} \frac{x-50}{25} x dx + \int_{65}^{100} 0,6 x dx}{\int_{25}^{35} \frac{x-25}{25} dx + \int_{35}^{60} 0,4 dx + \int_{60}^{65} \frac{x-50}{25} dx + \int_{65}^{100} 0,6 dx} = 68,4$$

Linearni razteg nam da indeks rekreacije $x_p^{**} = 80$ za Panovec in $x_{\check{S}}^{**} = 100$ za Šumberk s Kamniško Bistrico. Končni rezultat kaže, da je indeks rekreacije za Panovec dober, medtem ko je indeks rekreacije za Šumberk s Kamniško Bistrico najboljši možni.

Primerjava vrednosti vhodnih parametrov kaže, da je ob Šumberku in Kamniški Bistrici več urejenih kolesarskih poti, postavljenih je več dodatkov za rekreacijo, zaradi otroških igrišč ima večjo socialno vrednost, predvsem pa je poleg zglednega vzdrževanja narejenih veliko načrtov za nadaljnji razvoj, med katerimi bodo nekateri načrti uresničeni že letos. Panovec ima boljšo biotsko pestrost, k njenemu ohranjanju pa največ pripomorejo območja s poudarjeno biotopsko funkcijo, ki niso namenjena rekreaciji. Da je v teh območjih res manjši obisk, potrjuje študija, ki je bila narejena v Panovcu (Trkman, 2013), ki prav tako potrjuje, da je največja pomanjkljivost Panovca neoptimalno vzdrževanje, saj navaja, da neurejena okolica, zanemarjen gozd in slabo vzdrževane poti spadajo med bolj moteče dejavnike. Pomanjkljivost Panovca so tudi manj ambiciozni načrti za nadaljnji razvoj. Poleg omenjene študije (Trkman, 2013), ki prinaša predlog upravljavskega načrta za Panovec, je bila izvedena tudi študentska krajinskoarhitekturna raziskovalna delavnica (Gazvoda & Stupar, 2012), ki je prikazala zanimive možnosti razvoja Panovca. Zaenkrat so to le ideje, ki še niso bile spremenjene v konkretne načrte.

Veljavnost prikazanega modela je težko preveriti, lahko pa preverimo dve ključni stvari. Metodologija, ki smo jo uporabili, temelji na mehki logiki, za katero so številne aplikacije pokazale, da je primerna za razvoj okoljskih indeksov, saj omogoča vključevanje tako subjektivnih mnenj kot strokovnega znanja odločevalcev. Ker so podlaga indeksa lingvistične spremenljivke, sta sam model in tudi končni rezultat bolj razumljiva širši javnosti (McKone & Desphande, 2005). Drugo, kar je ključno pri modelu, je, katere parametre smo vključili vanj. Vsi opisani parametri vplivajo na primernost območij za rekreacijo, zato ni nobeden izmed njih nepomemben in ga ne bi smeli izključiti iz modela. Izbrani parametri tudi pokrivajo vse ključne vidike, povezane z rekreacijo.

5 SKLEP

V prispevku smo se ukvarjali z ocenjevanjem primernosti primestnih zelenih površin za rekreacijo. Razvili smo indeks rekreacije, ki temelji na mehki logiki, ki omogoča vrednotenje nemerljivih ali težje merljivih parametrov, in uporabi logičnih pravil sklepanja če – potem. Prikazani model vključuje ključne parametre, ki vplivajo na kakovost rekreacije na ocenjevanem območju. Razdelili smo jih v tri skupine: rekreacija, dodana vrednost in ohranjanje narave. Uporabo indeksa smo prikazali na dveh primerih. Ovrednotili smo Panovec, ki je mestni gozd Nove Gorice, in Šumberk z reko Kamniško Bistrico, ki je zelena os Domžal. Rezultati kažejo, da sta obe ocenjevani območji primerni za rekreacijo. Boljši rezultat Šumberka s Kamniško Bistrico je predvsem posledica velikega vlaganja v vzdrževanje objektov in v razvoj.

V nadaljnjem delu bi bilo dobro oceniti robustnost modela s pomočjo analize občutljivosti končnega rezultata glede na pravila če–potem. S predstavljenim modelom bi bilo zanimivo oceniti zelene površine večjih slovenskih krajev in rezultate primerjati med seboj. Dobri rezultati, kot smo jih na primer dobili za Šumberk s Kamniško Bistrico, lahko služijo območjem s slabšim indeksom za rekreacijo kot model dobre prakse (bench-mark), ki ga je vredno posnemati, saj dobre možnosti za rekreacijo lahko zelo pozitivno vplivajo na kakovost življenja v izbranem kraju.

6 LITERATURA IN VIRI

[1] Arsenijević, M. (2006). *Model učne poti na primeru parka Rafut.* Diplomsko delo. Politehnika Nova Gorica, Šola za znanosti o okolju, Nova Gorica, 78 str.

[2] Bartol, B., Križnar Jamnikar, T., & Zabret, M. (2007). Gozdna učna pot Šumberk. Dostopno na http://www.domzale.si/s1a2450/sumberk-in-gozdna-pot/gozdna-ucna-pot-sumberk.html (11. 6. 2014).

[3] Bohanec, M. (2006). *Odločanje in modeli*. Ljubljana: DMFA – Založništvo, 332 str.

[4] Bohanec, M. (2013). DEXi:A Program for Multi-Attribute Decision Making, version 4.00, http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html.

[5] Bohanec, M., Rajkovič, V., Bratko, I., Zupan, B., & Žnidaršič, M. (2012). *DEX methodology: Thirty three years of qualitative multi-attribute modelling.* Proceedings of the 15th International Conference Information Society IS 2012, Ljubljana, 8.–12. 10. 2012, 31–34.

[6] Carbajal-Hernández, J. J., Sánchez-Fernández, L. P., Carrasco-Ochoa, J. A., & Martínez-Trinidad, J. F. (2012). Assessment and prediction of air quality using fuzzy logic and autoregressive models. *Atmospheric Environment, 60*(0), 37–50.

[7] Chau, K.-w. (2006). A review on integration of artificial intelligence into water quality modelling. *Marine Pollution Bulletin, 52*(7), 726–733.

[8] Gazvoda, D., & Stupar, D. (2012). *Ureditev območja Panovca v Novi Gorici, Poročilo študentske krajinskoarhitekturne delavnice*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 34 str.

[9] Gharibi, H., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M., & Sowlat, M. H. (2012). A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *Journal of Environmental Management, 112*(0), 87–95.

[10] GUP. Zgibanka gozdna učna pot Panovec. Dostopno na http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/OE/01To/GUP/Panovec/Panovec.pdf (28. 1. 2014).

[11] Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., & Machado, M. A. S. (2009). River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators, 9*(6), 1188–1197.

[12] McKone, T. E., & Desphande, A. W. (2005). Can fuzzy logic bring complex environmental problems into focus. *Environmental Science & Technology, 15*, 42–47.

[13] Melendez-Pastor, I., Navarro-Pedreño, J., Koch, M., Gómez, I., & Hernández, E. I. (2013). Evaluation of land degradation after forest fire using a fuzzy logic model. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 12*(11), 2087–2096.

[14] MGP. Zgibanka mestni gozd Panovec. Dostopno na http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/OE/01To/GUP/Panovec/zgibanka_panovec.pdf (28. 1. 2014).

[15] Obreza, I. (2013). Kamniška Bistrica kot zelena os regije 2013–2014. Dostopno na http://www.zelena-os.si/aktualni_projekti.html (11. 6. 2014).

[16] Ochoa-Gaona, S., Kampichler, C., de Jong, B. H. J., Hernández, S., Geissen, V., & Huerta, E. (2010). A multi-criterion index for the evaluation of local tropical forest conditions in Mexico. *Forest Ecology and Management, 260*(5), 618–627.

[17] Pamič, S. (2009). *Ocenjevanje travniških nasadov z metodama TD in DEX.* Diplomsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Maribor, 62 str.

[18] Papler, D., & Bojnec, Š. (2013). *Odločitveni modeli za naložbe v bioplinarne z večkriterijsko analizo.* 6. konferenca DAES »Orodja za podporo odločanju v kmetijstvu in razvoju podeželja«, Krško, 18.–19. 4. 2013, 241–255.

[19] Peche, R., & Rodríguez, E. (2012). Development of environmental quality indexes based on fuzzy logic. A case study. *Ecological Indicators, 23*(0), 555–565.

[20] Pozderec, S., & Pažek, K. (2013). *Razvoj večkriterijskega modela za oceno načina pridelave zelenjave v zaščitenem prostoru.* 6. konferenca DAES »Orodja za podporo odločanju v kmetijstvu in razvoju podeželja«, Krško, 18.–19. 4. 2013, 257–267.

[21] Ross, T. J. (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*: Wiley.

[22] Silvert, W. (2000). Fuzzy indices of environmental conditions. *Ecological Modelling, 130*(1–3), 111–119.

[23] Sowlat, M. H., Gharibi, H., Yunesian, M., Tayefeh Mahmoudi, M., & Lotfi, S. (2011). A novel, fuzzy-based air quality index (FAQI) for air quality assessment. *Atmospheric Environment, 45*(12), 2050–2059.

[24] Trdin, N., Bohanec, M., & Janža, M. (2013). *Decision support system for management of water sources.* Proceedings of the 16th International Conference Information Society IS 2013, Ljubljana, 7.–11. 10. 2013, 118–121.

[25] Trkman, S. (2013). *Predlog upravljalskega načrta za gozdni prostor Panovec.* Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 100 str.

[26] Vahtar, M. (2013). Kamniška Bistrica kot zelena os regije. Dostopno na http://www.zelena-os.si/index.html (11. 6. 2014).

[27] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8*(3), 338–353.

▪

Petra Grošelj je asistentka na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer sodeluje pri predmetih matematika, matematične metode, kvantitativne metode, operacijske raziskave in osnove odločanja in modeliranja. Raziskovalno se ukvarja z operacijskimi raziskavami, predvsem z večkriterijskim odločanjem.

▪

Lidija Zadnik Stirn je redna profesorica za področje operacijskih raziskav na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. V okviru operacijskih raziskav se ukvarja z dinamičnim programiranjem, stohastičnimi in hierarhičnimi procesi ter večkriterijskimi metodami. Njeno znanstvenoraziskovalno delo je usmerjeno predvsem na področje metod optimiranja, ki so praktično uporabne v ekologiji, ekonomiki naravnih virov, gozdarstvu, lesarstvu, agronomiji in prehrani. Sodelovala je v raznih interdisciplinarnih raziskavah in bila vodja temeljnih in aplikativnih projektov, trenutno mednarodnega projekta COOL v okviru Wood/Wisdom ERA-Net. Njena bibliografija obsega več kot tristo bibliografskih enot. Bila je sourednica zbornikov in soavtorica več monografij s področja operacijskih raziskav. Je sourednica CEJOR. Aktivno dela v mednarodnih društvih s področja operacijskih raziskav. Je predstavnica Slovenije v IFORS, EURO, IFIP TC7 in IUFRO 4.05.00. Od leta 1997 je predsednica Slovenske sekcije za operacijske raziskave, od leta 2002 pa podpredsednica SDI.