

## Določanje ohranitvenih stanj kvalifikacijskih habitatnih tipov in vrst z metodo, ki temelji na mehki logiki

*Determination of Conservation Statuses of Qualification Habitat Types with the Method Based on Fuzzy Logic*

Petra GROŠELJ<sup>1</sup>, Lidija ZADNIK STIRN<sup>2</sup>, Marko KOVAČ<sup>3</sup>, Gregor METERC<sup>4</sup>

### Izvleček:

Grošelj, P., Zadnik Stirn, L., Kovač, M., Meterc, G.: Določanje ohranitvenih stanj kvalifikacijskih habitatnih tipov in vrst z metodo, ki temelji na mehki logiki. *Gozdarski vestnik*, 73/2015, št. 1. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 42 Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V prispevku smo predstavili matematični model za objektivno ocenjevanje ohranitvenih stanj (OHS) gozdnih habitatnih tipov ter habitatov vrst. Model temelji na mehki logiki, indikatorje pa med seboj povezujejo logična pravila sklepanja. V modelu najprej številske vrednosti vhodnih parametrov pretvorimo v lingvistične spremenljivke slabo, sprejemljivo in ugodno, za katere določimo funkcije pripadnosti. Zatem s pomočjo mehkih operatorjev, ki jih določajo logična pravila sklepanja, vrednosti indikatorjev združimo v končni rezultat, ki je izražen s številske in lingvistične vrednostjo. Model smo razvili za OHS gozdnih habitatnih tipov in uporabo prikazali za GGN GGE Snežnik in za OHS saproksilnih hroščev, za katerega smo uporabo prikazali za GGN Tolmin.

**Ključne besede:** ohranitveno stanje, mehka logika, logična pravila sklepanja

### Abstract:

Grošelj, P., Zadnik Stirn, L., Kovač, M., Meterc, G.: Determination of Conservation Statuses of Qualification Habitat Types with the Method Based on Fuzzy Logic. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 73/2015, vol. 1. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 42 Translated by the authors and Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In the paper the mathematical model evaluating conservation status of forest habitats and habitats of the species is presented. The model is based on fuzzy logic and indicators are joined by inference rules. First empirical values of indicators are transformed into linguistic variables poor, acceptable and favorable and their membership functions are defined. Then inference rules between linguistic variables and final output are defined. The final result is expressed with number and linguistic value. The model was developed for conservation status of forest habitat types. Use of the model was shown for the forest management plan of forest management unit Snežnik and for conservation status of saproxylic beetles, for which the use was shown for the forest management plan Trnovo.

**Key words:** conservation status, fuzzy logic, inference rules

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Pojem "ugodnega ohranitvenega stanja" (v nadaljevanju OHS) je v varstvo narave v prvem členu uvedla Direktiva o habitatih (1992, v nadaljevanju HD), nanaša pa se na habitatne tipe, habitate vrst in vrste. Čeprav naj bi HD postregla z jasnimi definicijami in pojmi, ostajata definiciji ugodnih OHS habitatov in vrst nejasni. Težave namreč nastanejo že pri razumevanju temeljnih pojmov, navedenih v definicijah, saj ni znano, kaj je, npr., "naravno območje razširjenosti habitatov", kakšne so "posebne strukture in funkcije, potrebne za njegovo ohranitev ...", kakšno naj bi bilo "stanje ohranjenosti njegovih značilnih vrst" itn.

Poleg neenotnega razumevanja ugodnega OHS je problematično tudi njegovo objektivno ocenjevanje. V povezavi z njim je treba zapisati, da na ravni EU v tem trenutku ne obstaja nobena objektivna metodologija, ki bi bodisi sledila v HD (1992) zapisanim določilom bodisi bi ocenjevanje gradila na morebitnih drugačnih objektivnih

<sup>1</sup> As. dr. P. G. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, SLO

<sup>2</sup> Prof. dr. L. Z. S. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, SLO

<sup>3</sup> Dr. M. K. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, SLO

<sup>4</sup> As. G. M. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, SLO

kazalcih. Do danes je bilo sicer izdelanih in v literaturi objavljenih nekaj metod (npr. Šeffer in sod., 2005, Cantarello in Newton, 2008), od katerih nobena za ocenjevanje OHS živalskih vrst in nobena za ocenjevanje OHS na srednje velikih in velikih prostorskih ravneh. Še dodatno objektivno ocenjevanje OHS otežuje nepoznavanje referenčnih stanj kazalcev. V slovenski naravovarstveni praksi nekatera med njimi določajo modeli potencialne naravne vegetacije (drevesna sestava, višina lesnih zalog) (Veselič, 2000), izkustvene ocene in celo pravilniki (npr. mrtva biomasa v Pravilniku o varstvu gozdov (PVG, 2009)). Zaradi vsega omenjenega ni presenečenje, da je pojem ugodnega OHS tudi predmet kritik (Cantarello in Newton, 2008, Kuris in Ruskule, 2006, Mehtälä in Vuorisalo, 2007).

V odsotnosti modelov za ocenjevanje OHS je namen tega prispevka predstaviti matematični model za objektivno ocenjevanje OHS gozdnih habitatnih tipov ter habitatov vrst. Z vidika sistematike model sodi med večkriterialne in temelji na konceptu mehke logike (Zadeh, 1965), ki omogoča, da v model vključimo količinske in kakovostne parametre, nelinearne, nedoločene in subjektivne podatke, ki odražajo človeško mišljenje in znanje strokovnjakov. Končni rezultat modela je izražen s številsko vrednostjo od 0 do 1, ki odraža oceno stanja kot z lingvistično spremenljivko slabo, sprejemljivo ali ugodno, kar omogoča, da je rezultat razumljiv tudi nestrokovnjakom (Silvert, 2000).

Modeli, ki vključujejo mehko logiko (Chau, 2006), so bili pri vprašanih, povezanih z okoljem in habitatih, v zadnjem času pogosto uporabljeni; predvsem v populacijski ekologiji (Kampichler in sod., 2000), pri ocenjevanju primernosti območij za različne, predvsem kmetijske rabe (Joss in sod., 2008; Oberthür in sod., 2000; Sicat in sod., 2005), v povezavi z indeksi za analizo kakovosti okolja (Peché in Rodríguez, 2012), pri kakovosti vode (Gharibi in sod., 2012; Lermontov in sod., 2009) in zraka (Carbajal-Hernández in sod., 2012; Sowlat in sod., 2011), stanju gozda (Ochoa-Gaona in sod., 2010), degradacijah območja po požaru (Melendez-Pastor in sod., 2013). V Sloveniji je bila za ocenjevanje hierarhije parametrov, izraženih z lingvističnimi spremenljivkami, razvita metoda DEX (Bohanec, 2006; Bohanec in sod., 2012), ki je bila med drugim uporabljena za ocenjevanje

travnških nasadov (Pamič, 2009) in za nadzor kakovosti pitne vode (Trdin in sod., 2013).

Predstavljeni model lahko služi tudi kot podlaga za razvoj modelov za ocenjevanje stanja habitatov rastlinstva in živalstva in drugih gozdnih ter negozdnih habitatnih tipov.

## 2 METODA

### 2 METHOD

#### 2.1 Teoretične osnove večkriterijskega modela, ki temelji na mehki logiki

##### 2.1 Theoretical basis of multi-criteria model based on fuzzy logic

Model temelji na mehki logiki in logičnih pravilih sklepanja ČE – POTEM. Mehka logika omogoča obravnavo kompleksnih sistemov in vključitev netočnih in nejasnih parametrov. Temeljna ideja mehke logike je, da elementi lahko samo delno pripadajo mehki množici. S pomočjo funkcij pripadnosti pretvorimo empirične vrednosti v lingvistične spremenljivke. Logična pravila sklepanja ČE – POTEM lingvističnim spremenljivkam priredijo končni rezultat v enem izmed mogočih končnih stanj.

Model je sestavljen iz treh ključnih korakov. V prvem koraku postavimo večnivojsko strukturo modela. Temelj modela so parametri, ki vplivajo na končni rezultat in jih v višjih nivojih združimo v skupine parametrov. Za vsak parameter definiramo ustrezne lingvistične spremenljivke, ki z besedo izražajo vrednost parametra (slab, dober, neprimeren, pomemben ...) in njihove funkcije pripadnosti (Zadeh, 1965). Nato številске podatke za parametre na prvem nivoju pretvorimo v vrednosti lingvističnih spremenljivk. V drugem koraku definiramo pravila logičnega sklepanja ČE – POTEM (Ross, 2004), ki omogočajo združevanje parametrov po nivojih in prehod na naslednji nivo. V tretjem koraku pretvorimo lingvistični rezultat v številsko vrednost, ki jo razložimo v jeziku, ki je razumljiv uporabnikom modela.

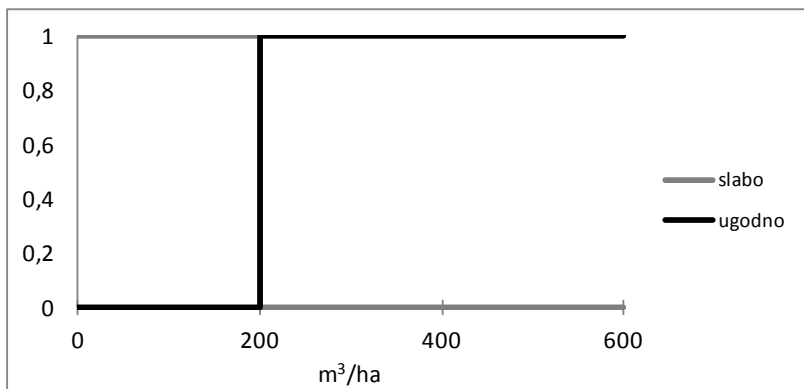
Za vsak parameter na temeljnem nivoju smo definirali tri lingvistične spremenljivke: slabo, sprejemljivo in ugodno, s čimer smo zagotovili, da je število logičnih pravil sklepanja še obvladljivo. Za vsako lingvistično spremenljivko smo definirali funkcijo pripadnosti, ki je temeljni pojem mehke logike in s katero predstavimo mehko množico (Ross, 2004; Zadeh, 1965). Pri običajnih množicah

cah imamo samo dve možnosti. Če je element v množici, ima funkcija pripadnosti vrednost 1, če pa element ne pripada množici, ima funkcija pripadnosti vrednost 0 (slika 1).

V mehki logiki lahko funkcija pripadnosti zavzame vse vrednosti od 0 do 1, zato lahko rečemo, da element delno pripada mehki množici

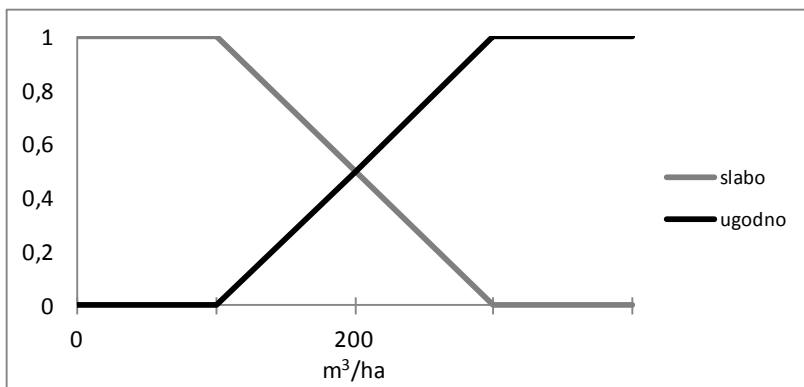
(slika 2). Mehke množice omogočajo bolj realistične meje, ki na področju gozdarstva, biologije in ekologije niso nikoli ostre in natančne.

V modelu smo uporabili funkcije pripadnosti, ki so trikotne (za lingvistično spremenljivko sprejemljivo) ali trapezne oblike (za lingvistični spremenljivki slabo in ugodno) (slika 3).



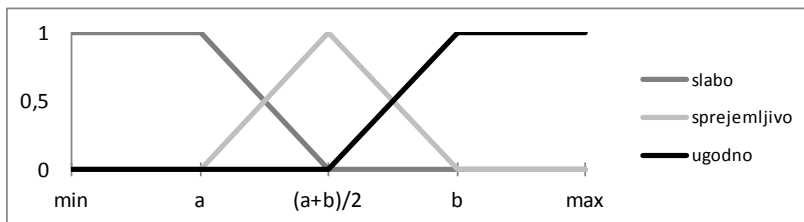
Slika 1: Primer funkcij pripadnosti za dve običajni množici (slabo in ugodno stanje) za volumen lesne zaloge za gozdni habitatni tip

Figure 1: An example of membership functions for two common sets (poor status and favorable status) for growing stock volume for the forest habitat type.



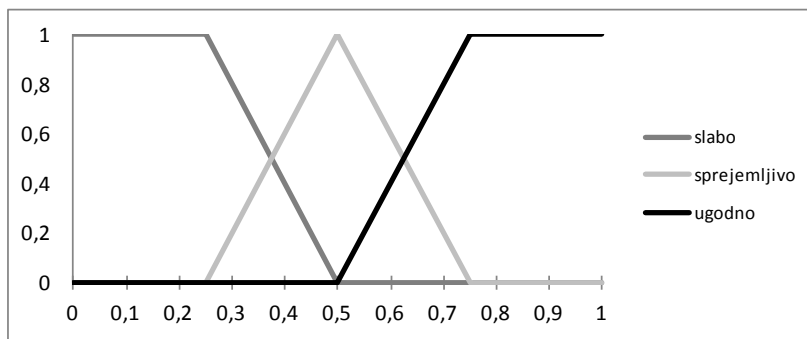
Slika 2: Primer funkcij pripadnosti za dve mehki množici (slabo in ugodno stanje) za volumen lesne zaloge za gozdni habitatni tip

Figure 2: An example of membership functions for two soft sets (poor status and favorable status) for growing stock volume for the forest habitat type.



Slika 3: Funkcije pripadnosti za vse tri lingvistične spremenljivke

Figure 3: Membership functions for all three linguistic variables



Slika 4: Funkcije pripadnosti za OHS

Figure 4: Membership functions for conservation status

Pri izbiri parametrov modela smo upoštevali samo tiste, na katere človek s svojim ravnanjem lahko vpliva neposredno ali posredno. Poimenovali smo jih indikatorji ohranitvenega stanja (OHS) in jih na podlagi njihovega vpliva na OHS razdelili v dve skupini: ključni indikatorji in preostali indikatorji. Ključni indikatorji so tisti, za katere velja, da če je njihovo stanje slabo, je tudi OHS slabo ne glede na vrednosti drugih indikatorjev.

Na koncu smo lingvistično vrednost OHS pretvorili nazaj v številsko (slika 4). Uporabili smo metodo središča gravitacije, ki se pogosto uporablja v aplikacijah (Gharibi in sod., 2012; Ross, 2004; Van Broekhoven in De Baets, 2006). Končna vrednost modela je tako izražena s številom od 0 do 1 (slika 4, vodoravna os), kjer večja vrednost pomeni boljše končno stanje. Zaradi lažje interpretacije rezultata smo ploskve OHS izrazili z lingvističnimi spremenljivkami slabo (za končne vrednosti med 0 in 0,35), sprejemljivo (za končne vrednosti med 0,35 in 0,65) in ugodno (za končne vrednosti med 0,65 in 1) (slika 4).

## 2.2 Omejitve, izbor kazalcev, podatki

### 2.2 Limitations, selection of indices, data

Zaradi pomanjkanja znanstvene literature o kazalcih za presojanje OHS in o njihovih referenčnih stanjih so bili za ocenjevanje OHS gozdnih habitatnih tipov na podlagi pregleda literature izbrani kazalci biotske raznovrstnosti (Angelstam in Dönz-Breuss, 2004, MCPFE, 2003, Marchetti, 2004, Winter in sod., 2011). Izmed večjega števila je bilo za testiranje modela izbranih pet takih, ki so ustrezali prostorski ravni gozdnega habitatnega tipa.

Kazalci za ocenjevanje hroščev OHS so bili izbrani na podlagi pregleda literature o vplivu okoljskih dejavnikov na ohranjanje in biotsko raznovrstnost saproksilnih hroščev (Lindenmayer in sod., 2000, Siitonen in sod., 2000, EEA, 2007, Brin in sod. 2009). Številne raziskave obravnavajo vpliv posameznih dejavnikov na ohranjanje in biotsko raznovrstnost saproksilnih hroščev. Izmed teh dejavnikov smo za testiranje modela izbrali štiri, ki jih je mogoče neposredno ali posredno uravnjavati z gospodarjenjem in so ustrezali prostorski ravni sestoja.

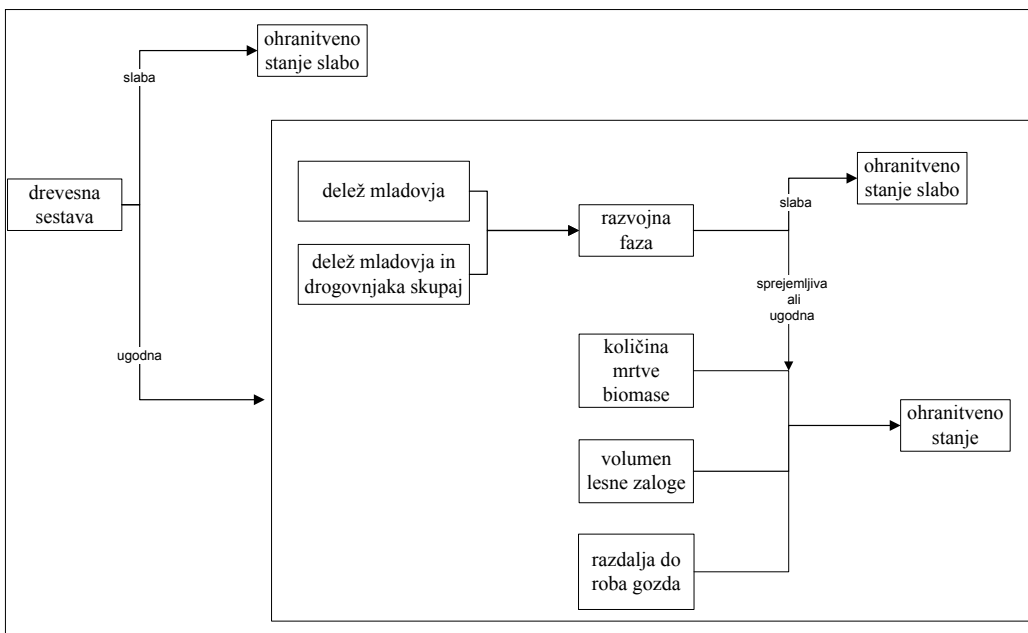
Podatki za obračun OHS gozdnih habitatnih tipov so bili pridobljeni iz gozdno gospodarskih (GG) načrtov območij GG, ki so javni dostopni na spletni strani ZGS (ZGS, 2005). Podatki za hrošče so bili pridobljeni neposredno na terenu z izmero količine mrtve lesne mase, deleža starih debeljakov, deleža iglavcev oz. bukve v lesni zalogi ter določitvijo ulovljenih saproksilnih hroščev.

## 2.3 OHS gozdnih habitatnih tipov

### 2.3 Conservation status of forest habitat types

V primeru ocenjevanja OHS GHT smo določili pet indikatorjev, in sicer: drevesna sestava, razvojna faza, lesna zaloga, mrtev les in delež debelega odmrlega lesa (slika 5). Vsak izmed indikatorjev utemljuje vsaj enega izmed pogojev, navedenih v definiciji ugodnega OHS.

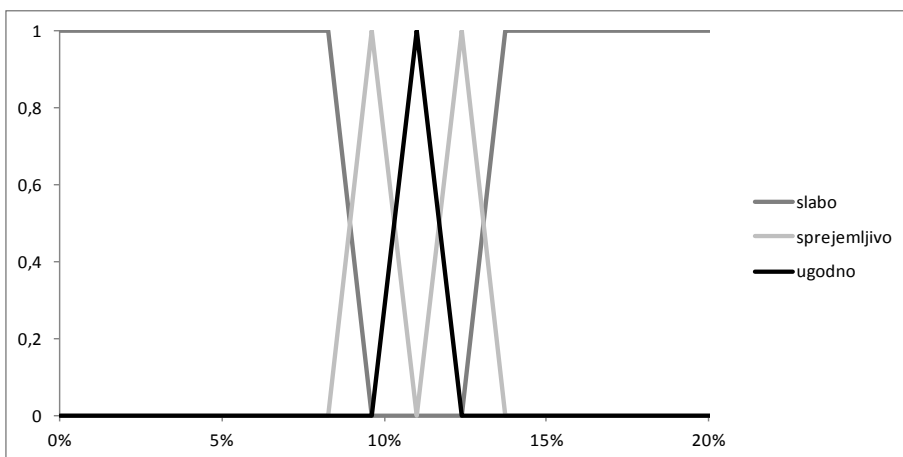
Referenčni vrednosti indikatorjev *a* in *b* (slika 3) smo določili na podlagi podatkov načrta GG, enote Snežnik, in sicer RGR 104 *Omphalodo Fagetum typicum* (ZGS, 2005).



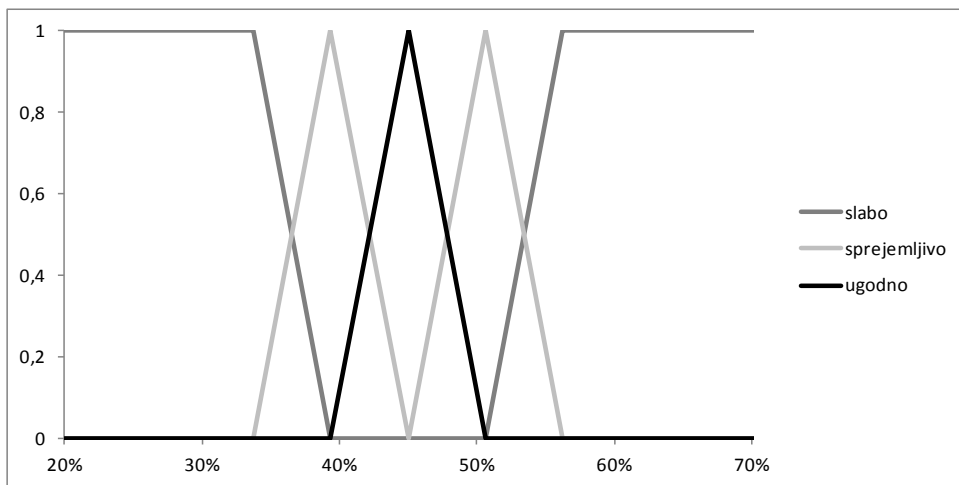
Slika 5: Model ohranitvenega stanja za gozdne habitatne tipe  
 Figure 5: Model of conservation status for forest habitat types

Drevesna sestava in razvojna faza sta ključna dejavnika, kar pomeni, da slabo stanje teh indikatorjev pomeni končno slabo stanje gozdnega habitatnega tipa ne glede na stanje preostalih dejavnikov. Za oba indikatorja tudi pomeni, da je njuna vloga v modelu predvsem ta, da na dolgi rok opozarjata, kaj se bo z GHT najverjetneje zgodilo, če se njun razvoj ne bo obrnil v pravo smer (npr. približevanje namesto oddaljevanja

idealni drevesni sestavi). Glede drevesne sestave kaže poudariti, da zaradi izjemno raznolikih vrednosti v posameznih gozdnih združbah ni neposredno vključena v model, ampak mora biti njen status predhodno ocenjen s fitocenološkimi metodami (Urbančič, 2001) oz. fitocenološkim izvedenskim znanjem. Če je ocena neustrezna, se OHS sestoj, ki naj bi sodil v določen GHT, ne ocenjuje, ampak se slaba ocena za sestoj



Slika 6: Funkcije pripadnosti za vse tri lingvistične spremenljivke za poddejavnik delež mladovja  
 Figure 6: Membership functions for all three linguistic variables for the subfactor Share of regeneration



Slika 7: Funkcije pripadnosti za vse tri lingvistične spremenljivke za poddejavnik delež mladovja in drogovnjaka skupaj

Figure 7: Membership functions for all three linguistic variables for the subfactor Share of regeneration and pole together

preprosto privzame za ves GHT. Če pa je stanje drevesne sestave sprejemljivo oz. ugodno, potem se OHS GHT ocenjuje s preostalimi indikatorji. Utemeljitev tega načina je naslednja: če so npr. v konkretnih sestojih sedanje drevesne sestave spremenjene v tolikšni meri, da niso več značilne za GHT, v katerega so razvrščene (npr. smrekova

monokultura), potem o sprejemljivem OHS z vidika GHT pač ne moremo govoriti ne glede na njegovo velikost, količino mrtvega lesa, lesno zalogo in druge znake.

Indikator razvojna faza smo razdelili v dva podkazalca: delež mladovja (slika 6) in delež mladovja in drogovnjakov skupaj (slika 7). Za

**Preglednica 1:** Sedanje vrednosti, spodnje še sprejemljive vrednosti in ciljne vrednosti indikatorjev: GGN GGE Snežnik, RGR 104 (ZGS 2005)

Table 1: The present values, minimum still acceptable values and target values of indicators: GGN GGE Snežnik, RGR 104 (ZGS 2005)

Indikator		Stanje	Spodnja še sprejemljiva vrednost (a)	Ciljna vrednost (b)
Drevesna sestava	smreka	12 %	VM ali E	20 %
	jelka	56 %	VM ali E	45 %
	bukev	28 %	VM ali E	30 %
	plemeniti listavci	4 %	VM ali E	5 %
Razvojna faza	mladovje	1,4 %	glej slika 6, 7	11 %
	drogovnjak	8,3 %	glej slika 7	34 %
	debeljak	57,3 %		36 %
	sestoji v obnovi	33 %		19 %
Lesna zaloga (m <sup>3</sup> )		404	287,25	383
Mrtvi les (m <sup>3</sup> /ha)		10,5	10	20
Delež debelega odmrlega lesa (d>30cm)		10 %	37,5 %	50 %

Legenda: FM ali E – vegetacijski model ali izvedenska ocena fitocenologa

določitev referenčnih vrednosti za funkcije pripadnosti smo vzeli zaželeno razmerje razvojnih faz, kot je izkazano z modelom potencialne naravne vegetacije v gozdnogospodarskem načrtu (preglednica 1).

Tudi za preostale indikatorje so bile ciljne vrednosti privzete iz načrta GG (preglednica 1). Pri tem ciljna vrednost označuje ugodno stanje (vrednost  $b$ , slika 3), spodnja še sprejemljiva vrednost pa je označena z  $a$ . Pri mrtvem lesu je vrednost  $a$  mediana slovenskih gozdov, za lesno zalogo in delež debelega odmrlega lesa pa je  $a$  75 % ciljne vrednosti, ki je določena arbitrarno.

## 2.3 OHS saproksilnih hroščev

### 2.3 Conservation status of saproxylic beetles

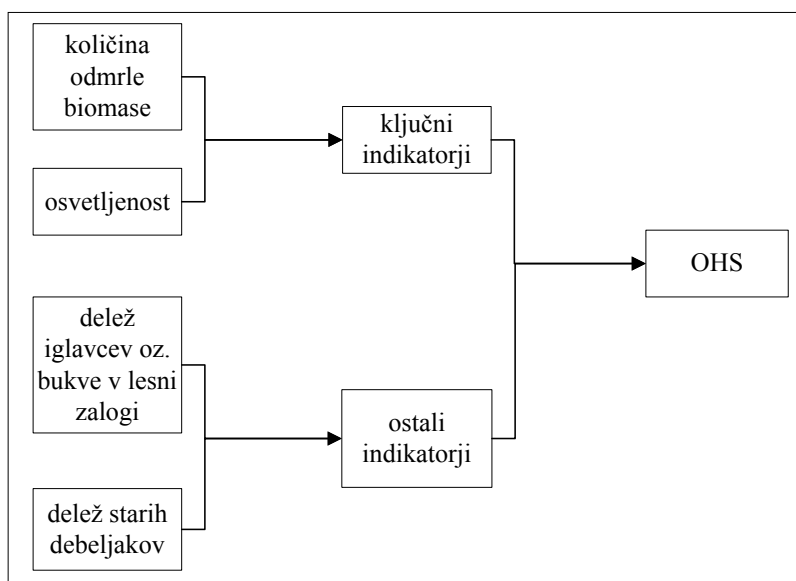
Za potrebe presoje OHS smo izbrali vplivne indikatorje, pri čemer pa smo upoštevali take, ki jih je mogoče neposredno ali posredno uravnavati z gospodarjenjem.

V primeru hroščev sta bila kot ključna določena indikatorja odmrle lesna masa in osvetljenost, kot manj pomembna pa delež iglavcev (za iglaste gozdove) oziroma navadne bukve (za bukove gozdove) v lesni zalogi in delež starih debeljakov (slika 8). Ker za indikator osvetljenost nismo imeli podatkov, je v tej raziskavi nismo vključili v model.

Ohranitveno stanje za družino kozličkov in tudi za samo vrsto *M. funereus* je bilo na podlagi količinskih kriterijev izračunano z modelom.

Ker v obstoječi literaturi o biotski pestrosti entomofavne večinoma ni navedeno, kateri indikatorji so primerni za presojo OHS, niti za bolj znane in proučevane indikatorje (npr. količina mrtvega lesa) ne navaja konsistentnih referenčnih vrednosti (Müller in sod., 2010), smo referenčne vrednosti modela OHS določali statistično:

- za količino odmrle biomase smo za  $a$  in  $b$ , ki definirata funkcije pripadnosti (slika 3), določili arbitrarne vrednosti 7 m<sup>3</sup>/ha (80 % povprečne količine odmrle biomase gospodarski gozd držav Evropske unije) oz. 20 m<sup>3</sup>/ha (povprečna količina odmrle lesne biomase v slovenskih gozdovih),
  - za delež iglavcev (navadne smreke in jelke) v celotni lesni zalogi sta bili vrednosti  $a$  in  $b$  postavljeni pri 35 oz. 65 %, kar je povprečje ploskev,
  - za delež navadne bukve v lesni zalogi sta bili postavljeni meji 35 % in 65 %, kar je povprečje ploskev,
  - za indikator delež starih debeljakov (premer nad 50 cm) v lesni zalogi vseh debeljakov (premer nad 30cm) smo postavili meji 20 % in 50 %.
- Smiselnost modela smo preverili na podatkih za ploskve v GGO Tolmin.



Slika 8: Model OHS za saproksilne hrošče  
Figure 8: Model of conservation status for saproxylic beetles



### 3 REZULTATI

### 3 RESULTS

#### 3.1 Ohranitveno stanje gozdnih habitatnih tipov

##### 3.1 Conservation status of forest habitat types

Z modelom potencialne naravne vegetacije (Urbančič, 2001) smo ocenili, da je ohranitveno stanje za gozdne habitatne tipe za GGN GGE Snežnik, RGR 104 za indikator drevesne sestave ugodno. Zato smo lahko nadaljevali ocenjevanje preostalih indikatorjev z modelom. Rezultati kažejo (preglednica 2), da je ohranitveno stanje za vse indikatorje, razen lesne zaloge, slabo. Zato je tudi OHS slabo. Številka v oklepaju označuje izračunano končno vrednost modela.

**Preglednica 2:** Rezultati modela OHS: GGN GGE Snežnik, RGR 104

*Table 2: Results of the conservation status model: GGN GGE Snežnik, RGR 104*

Indikator	OHS indikatorja
Drevesna sestava	ugodno
Delež mladovja	slabo
Delež mladovja in drogovnjaka skupaj	slabo
Razvojna faza	slabo
Lesna zaloga (m <sup>3</sup> )	ugodno
Mrtvi les (m <sup>3</sup> /ha)	slabo
Delež debelega odmrlega lesa (d>30cm)	slabo
<b>OHS</b>	<b>slabo (0,2)</b>

**Preglednica 3:** Vrednosti ohranitvenega stanja pred ukrepi na lokaciji

*Table 3: Values of the conservation status prior the action on location*

Gozdni tip/intenzivnost sečnje	Indikator	OHS
Jelka/močna 100 %	odmrla biomasa	slabo/sprejemljivo
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež iglavcev v lesni zalogi	ugodno
	<b>OHS</b>	<b>sprejemljivo (0,47)</b>
Jelka/srednja 50 %	odmrla biomasa	sprejemljivo
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež iglavcev v lesni zalogi	sprejemljivo/ugodno
	<b>OHS</b>	<b>sprejemljivo (0,64)</b>
Jelka/kontrola 0 %	odmrla biomasa	slabo
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež iglavcev v lesni zalogi	ugodno
	<b>OHS</b>	<b>slabo (0,19)</b>
Smreka/močna 100 %	odmrla biomasa	sprejemljivo/ugodno
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež iglavcev v lesni zalogi	sprejemljivo/ugodno
	<b>OHS</b>	<b>ugodno (0,72)</b>
Smreka/srednja 50 %	odmrla biomasa	ugodno
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež iglavcev v lesni zalogi	ugodno
	<b>OHS</b>	ugodno (0,81)
Smreka/kontrola 0 %	odmrla biomasa	ugodno
	delež starih debeljakov	sprejemljivo/ugodno
	delež iglavcev v lesni zalogi	ugodno
	<b>OHS</b>	<b>ugodno (0,78)</b>
Bukev/močna 100 %	odmrla biomasa	sprejemljivo/ugodno
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež bukve v lesni zalogi	ugodno
	<b>OHS</b>	<b>ugodno (0,79)</b>



Bukev/srednja 50 %	odmrla biomasa	slabo
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež bukke v lesni zalogi	ugodno
	<b>OHS</b>	<b>slabo (0,19)</b>
Bukev/kontrola 0 %	odmrla biomasa	slabo
	delež starih debeljakov	ugodno
	delež bukke v lesni zalogi	ugodno
	<b>OHS</b>	<b>slabo (0,19)</b>

### 3.2 Ohranitveno stanje habitatov hroščev

#### 3.2 Conservation status of beetle habitats

Preglednica 3 prikazuje vrednosti modelnih ohranitvenih stanj za habitate saproksilnih hroščev iz družine kozličkov na opazovanih ploskvah, izračunanih s pomočjo referenčnih vrednosti spremenljivk. Modeli se nanašajo na habitate saproksilnih hroščev, izpostavljenih različnim ukrepom (razlike v mrtvi in živi biomasi). Na drugi strani, zaradi vhodnih spremenljivk, ki so značilne za širši prostor, predstavljajo splošno stanje v območjih OHS.

Iz preglednice 3 je razvidno: če je za ključni indikator, ki je v našem primeru odmrla biomasa, veljalo, da je stanje slabo, je bilo tudi OHS slabo ne glede, ali sta bila preostala indikatorja ugodna. Večinoma so bile vrednosti ohranitvenih stanj pred ukrepi na lokaciji ugodne, razen sestojev bukve (intenzivnost sečnje od 0 do 50 %) ter sestoja jelke (intenzivnost sečnje 0 %).

## 4 DISKUSIJA

### 4 DISCUSSION

V Sloveniji (in najbrž tudi drugje po Evropi) se OHS GHT in habitatov vrst zaenkrat ocenjuje z izvedenskimi – posledično arbitrarnimi metodami, ki načeloma sledijo pogojem, zapisanim v habitatni direktivi (člen 1 alineji e in i). V prispevku prikazani model, ki temelji na izbranih indikatorjih, je zato korak naprej k objektivnemu in tudi bolj primerljivemu ocenjevanju OHS.

Z metodološkega vidika lahko glede veljavnosti in primernosti prikazanega modela za OHS preverimo dva ključna dejavnika. Prikazani model temelji na mehki logiki, za katero so številne aplikacije pokazale, da je primerna za ocenjevanje indikatorjev, katerih točnih vrednosti ne poznamo, saj omogoča mehko prehajanje med različnimi

stanji, kar pomeni, da ni ostrih meja med slabim, sprejemljivim in ugodnim. Ker so temelj indeksa lingvistične spremenljivke, sta sam model in tudi končni rezultat bolj razumljiva tudi nestrokovnjakom (Mckone in Desphande, 2005). Drugo, kar je ključno pri modelu, je, katere indikatorje smo vključili vanj.

Glede vrst indikatorjev je treba najprej poudariti, da so prispevku opisani indikatorji GHT skupaj z izbranimi indikatorji MCPFE (npr. površina gozdov, naravnost, krajinski vzorec (MCPFE, 2003) primerni predvsem za rabo na srednje velikih in velikih prostorskih ravneh, kot so npr. enote GG, območja GG, politične regije ali država. Lista indikatorjev je odprta in jo velja smiselno dopolnjevati.

Pomembna lastnost indikatorjev je, da je podatke zanje mogoče pridobivati z gozdnimi inventurami. Glede podatkovne popolnosti je treba še posebej izpostaviti Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov, ki se s strani Gozdarskega inštituta Slovenije izvaja periodično vsakih nekaj let. Gozdne inventure so kot dobaviteljce podatkov pomembne tudi zato, ker s pomočjo raznovrstnih statističnih cenilk (mere sredin, mere variacije) za indikatorje pomembno prispevajo k oblikovanju sedanjih, referenčnih in tudi ciljnih vrednosti indikatorjev.

Ključni indikator saproksilnih hroščev je zagotovo količina mrtvega lesa. Saproksilne žuželke, ki so v svojem življenju vezane na mrtev les, so izredno občutljive za vrsto in intenzivnost gospodarjenja z gozdovi ter na samo količino in strukturo mrtvega lesa. Vendar pa ni konsistenčnih referenčnih vrednosti o količini mrtvega lesa. Müller in Bütler (2010) sta postavila okvirne mejne vrednosti količine mrtvega lesa za posamezne tipe gozdov. Tako bi morala npr. znašati količina mrtvega lesa v nižinskih hrastovo bukovih gozdovih od 30 do 50

$m^3/ha$ , za gorske mešane gozdove jelke in bukve pa od 30 do 40  $m^3/ha$ . Poudariti je treba, da gre za okvirne meje, določene za vse saproksilne organizme. Biologija posameznih vrst pa je različna, tako nekatere vrste za svoj razvoj in obstoj potrebujejo znatno manjše količine mrtvega lesa, druge pa večje. Poleg same količine ter strukture mrtve mase na prisotnost saproksilov zelo vpliva tudi osvetljenost in posledično temperaturne razmere. Raziskave na Švedskem (Jonsell in sod., 1998) so pokazale, da daje približno 24 % saproksilnih vrst, ki so uvrščene na rdeči seznam ogroženih vrst, prednost mestom, ki so izpostavljena sončnemu obsevanju, medtem ko le 9 % ogroženih saproksilnih vrst bolj ugajajo senčne lege, 35 % vrst je bilo neobčutljivih glede svetlobnih razmer, za preostale pa preferenca ni bila ugotovljena. Na Finskem je Similä in sod. (2003) raziskoval biotsko raznovrstnost saproksilnih hroščev v gospodarjenih in negospodarjenih gozdovih. Ugotovili so, da ni statistično značilnih razlik v vrstni pestrosti med gospodarjenimi in negospodarjenimi gozdovi, kot pomemben ukrep za obstoj vrst pa avtorji navajajo stalno kontinuiteto in raznovrstnost mrtvega lesa v gospodarjenih gozdovih.

Gozdovi opravljajo več funkcij hkrati, zato je pri gospodarjenju z njimi treba iskati kompromis med različnimi funkcijami. Nerealno bi bilo od lastnika gozda pričakovati, da bi v gozdu pustil 50  $m^3/ha$  mrtvega lesa. Glede na to, da v gospodarskih gozdovih držav EU povprečna količina odmrle lesne mase znaša 8,4  $m^3/ha$ , v Sloveniji pa je povprečna količina odmrle lesne mase 20  $m^3/ha$ , menimo, da je z vidika količine mrtvega lesa, kot pomembnega dejavnika za razvoj saproksilnih vrst, v Sloveniji ugodno stanje.

Prikazani model je namenjen ocenjevanju OHS konkretnih habitatov in večjih predelov (kot so ekoregije, gozdnogospodarske enote, območja, izločena po Habitatni direktivi). Tako npr. na ravni države vključimo spremenljivke, kot so površina gozdov, drevesna sestava ipd. Na ravni nekega sestoja oz konkretnega habitata pa se število variabel zelo poveča (npr. zastrtost, razmestitev dreves, poškodovanost dreves ipd.). V primeru ocenjevanja OHS neke konkretne površine sestoja je treba paziti, da se ne vključuje spremenljivk, ki imajo na majhnih površinah status konstante (npr. temperatura).

## 5 ZAKLJUČEK

## 5 CONCLUSION

Modeli, prikazani v tem prispevku, so korak k objektiviziranju OHS, ki se sedaj za habitate vrst in GHT še vedno ocenjujejo ekspertno in zato v veliki meri arbitrarno. Modeli imajo pomanjkljivosti, kot so npr. arbitrarna izbira indikatorjev, pomanjkanje verodostojnih podatkov za izračunavanje njihovih referenčnih vrednosti, premajhna občutljivost za spremembe v naravi, imajo pa tudi številne prednosti. Le-te kaže iskati predvsem v tem, da modeli s strani števila spremenljivk niso zaprti, ampak omogočajo dopolnjevanje, da ne temeljijo na kritiziranih ostrih mejah referenčnih vrednosti, ampak na mehki logiki in da lahko služijo kot dodatna metoda sedanji metodologiji ocenjevanja habitatov vrst in GHT.

Prav tako je prednost modelov, da jih je mogoče uporabiti na dveh ravneh: na velikoprostorski, kot so ekoregija, območje Natura 2000, enota GG, in tudi na lokalni, kot je konkreten habitat.

## 7 SUMMARY

In this article we deal with the conservation status of habitat types and habitats of species. Since there are no models for evaluating conservation status (CS), we developed our own multi-criteria mathematical model for objective evaluation of CS. The presented model can also be used as the basis for development of models for evaluation of optional animal, plant or forest habitats. The use of the model is shown on two examples: CS of forest habitat types and CS of saproxylic beetles.

The model is based on the fuzzy logic concept. With usual sets, every element is a member or is not a member of the set. However, in fuzzy logic the elements can be only partial members of the fuzzy set. This enables treatment of complex systems and integration of inaccurate and fuzzy parameters. The model has a hierarchic multi-level structure and is based on parameters affecting CS. We defined three linguistic variables for every parameter on the elementary level: poor, acceptable and favourable. By the use of fuzzy sets, presented with triangular and trapezoidal membership functions, we converted empiric

values of every parameter into linguistic variables. Parameters at various levels were joined together using inference rules IF-THEN. Final result describes conservation status in one of its possible final statuses: poor, acceptable, favorable, and is also numerically presented.

Selecting the parameters of the model we took in account only those ones man can directly or indirectly affect with his activity. We named them indicators of conservation status (CS) and divided them into two groups on the basis of their impact on CS: key indicators and other indicators. Key indicators are the ones for which the following applies: if their status is poor, condition status is poor regardless of the value of other indicators.

For the model of CS of forest habitat types we set as factors the following indices of biodiversity: tree composition, development phase, growing stock, deadwood and share of large diameter decayed wood. We did not incorporate tree composition directly into the model due to its extremely diverse values; its status needed to be evaluated with phytocoenological methods or expert phytocoenological knowledge prior to incorporation. Poor evaluation represents poor evaluation for the whole forest habitat type. If the tree composition status is acceptable or favorable, condition status of the forest habitat type is evaluated using other indicators. Thereby tree composition and development phase are key factors; that means that poor status of these two indicators signifies final poor status regardless of status of other factors. In the long term the factors warn about what will most probably happen with the forest habitat type, if their trend does not turn into the right direction. We divided the indicator Development phase into two sub-indicators: share of regeneration and share of regeneration and pole together. Reference values of indicators defining limits of soft sets were determined on the basis of the data from forest management plan of forest management unit Snežnik. By the use of the model of potential natural vegetation we estimated that conservation status for forest habitat types for GGN GGE Snežnik, RGR 104 is favorable for tree composition indicator. From this reason we were able to proceed with evaluation of other indicators with the model. Results show poor conservation status for all indicators except growing stock. Therefore

the conservation status is poor, too.

Indicators for evaluating conservation status of beetles were selected on the basis of review of literature about impact of environmental factors on conservation and biodiversity saproxylic beetles. Deadwood biomass and insulation were selected as key indicators and share of conifers (for conifer forest) respectively common beech (for beech forests) in growing stock and share of old pole trees were considered less important. Since we had no data for insulation indicator, we did not include it into the model. Reference values of the conservation status model were determined statistically. We checked the reasonability of the model on data for plots in GGO Tolmin for the habitats of saproxylic beetles from the longhorn beetle family exposed to diverse actions, which means differences in dead and alive biomass. Results show the following: if status is poor for the key indicator, namely dead biomass, conservation status is poor regardless of favorability of the other two indicators. Conservation condition values prior to actions on location were mostly favorable with exception of beech stands (felling intensity 0 and 50 %) and fir stands (felling intensity 0 %).

We should emphasize that the indicators of forest habitat types, described in the article, and the selected MCPEE indicators are above all appropriate for the use on medium-size and large spatial levels, for example forest management units, forest management areas, political regions or the country. An important feature of these indicators is that the data for them can be acquired through forest inventories.

Key indicator of saproxylic beetles is certainly the amount of deadwood. Saproxylic insects tied to deadwood in their life are extremely sensitive to kind and intensity of forest management and to the amount and structure of deadwood. But there are no consistent reference values of the deadwood amount. Forests perform several functions simultaneously therefore it is necessary to seek a compromise between diverse functions in forest management. It would be unrealistic to expect from the forest owner that he leaves 50 m<sup>3</sup>/ha of deadwood. Taking into consideration that the average amount of deadwood in commercial forests of EU countries amounts to 8.4

m<sup>3</sup>/ha and 20 m<sup>3</sup>/ha of deadwood in Slovenia, we believe that the condition on Slovenia is favorable from the viewpoint of the deadwood amount as an important factor for the development of saproxylic species.

The model presented in this article represents a step towards objectivization of conservation statuses which are still evaluated expertly and therefore to a large extent arbitrarily for the habitats of species and forest habitat types. One of the advantages of the presented model is the fact that the model is not closed considering number of variables but enables supplementation. In addition the model is not based on the criticized sharp boundaries of reference values but on fuzzy logic and can thus serve as a supplementary method to the present methodology of evaluation of habitats of species and forest habitat types.

## 8 LITERATURA 8 REFERENCES

- Angelstam, P., Dönn-Breuss, M., 2004. Measuring Forest Biodiversity at the Stand Scale: An Evaluation of Indicators in European Forest History Gradients. *Ecological Bulletins*, 51: 305–332
- Bohanec, M., 2006. Odločanje in modeli. Ljubljana, DMFA – založništvo: 332 str.
- Bohanec, M., Rajkovič, V., Bratko, I., Župan, B., Žnidaršič, M., 2012. DEX methodology: Thirty three years of qualitative multi-attribute modelling. V: Proceedings of the 15th International Conference Information Society IS 2012. (ur.), Ljubljana, 8.–12.10.2012, 31–34
- Brin, A., Brustel, H., Jactel, H., 2009. Species variables or environmental variables as indicators of forest biodiversity: a case study using saproxylic beetles in Maritime pine plantations. *Ann. For. Sci.* 66: 306.
- Cantarello, E., Newton, A. C., 2008. Identifying cost-effective indicators to assess the conservation status of forested habitats in Natura 2000 sites. *Forest Ecology and Management*, 256, 4: 815–826
- Carbaljal-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
- Chau, K.-W., 2006. A review on integration of artificial intelligence into water quality modelling. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 7: 726–733
- EEA, 2007. Halting the loss of biodiversity by 2010: proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe. Rep. No. 11/2007, Copenhagen. 186 str.
- 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
- Habitats Directive, 1992. [Internet site]. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992L0043:EN:HTML> [Cited 22 Sept 2009].
- Jonsell, M., Weslien, J., Ehnström, B., 1998. Substrate requirements of red-listed saproxylic invertebrates in Sweden. *Biodiversity Conservation*, 7: 749–764.
- Joss, B. N., Hall, R. J., Sidders, D. M., Keddy, T. J., 2008. Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141, 1–3: 79–96
- Kampichler, C., Barthel, J., Wieland, R., 2000. Species density of foliage-dwelling spiders in field margins: a simple, fuzzy rule-based model. *Ecological Modelling*, 129, 1: 87–99
- Kuris, M., Ruskule, A., 2006. Favourable Conservation Status of Boreal Forests: Monitoring, Assessment, Management. Baltic Environmental Forum, Tallinn, 39 s.
- 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
- Lindenmayer, D. B., Margules, C. R., Botkin, D. B., 2000. Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conserv. Biol.* 14: 941–950.
- Marchetti, M. (Ed.), 2004. Monitoring and Indicators of forest biodiversity in Europe - from ideas to operationality. EFI proceedings No. 51, 526 p.
- MCPFE, 2003. Improved Pan-European indicators for sustainable forest management as adopted by the MCPFE expert level meeting 7–8 October 2002. Liason Unit Vienna. 6 p.
- Mckone, T. E., Desphande, A. W., 2005. Can fuzzy logic bring complex environmental problems into focus. *Environmental Science & Technology*, 15, 42–47
- Mehtälä, J., Vuorisalo, T., 2007. Conservation policy and the EU Habitats Directive: favourable conservation status as a measure of conservation success. *European Environment*, 17, 6: 363–375
- 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
- Müller, J., Bütler, R., 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal for Forest Research*, 129: 981–992.
- Müller, J., Noss, R. F., Bussler, H., Brandl, R., 2010. Learning from a “benign neglect strategy” in a national park: Response of saproxylic beetles to dead wood accumulation. *Biological Conservation*, 143, 11: 2559–2569
- Oberthür, T., Dobermann, A., Aylward, M., 2000. Using

- auxiliary information to adjust fuzzy membership functions for improved mapping of soil qualities. *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 5: 431–454
- 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
- Pamič, S., 2009. Ocenjevanje travniških nasadov z metodo TD in DEX. Diplomsko delo, Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, 62 str.
- Peche, R., Rodríguez, E., 2012. Development of environmental quality indexes based on fuzzy logic. A case study. *Ecological Indicators*, 23, 555–565
- PVG, 2009. Pravilnik o varstvu gozdov. Uradni list RS, št. 114/2009
- Ross, T. J., 2004. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Wiley: 628 str.
- Sicat, R. S., Carranza, E. J. M., Nidumolu, U. B., 2005. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification. *Agricultural Systems*, 83, 1: 49–75
- Silvert, W., 2000. Fuzzy indices of environmental conditions. *Ecological Modelling*, 130, 1–3: 111–119
- Sii-tonen, J., Martikainen, P., Punttilä, P., Rauh, J., 2000. Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management*, 128: 211–225.
- Similä, M., Kouki, P., Martikainen, P., 2003. Saproxylc beetles in managed and seminatural Scots pine forests: quality of dead wood matters. *Forest Ecology and Management*, 174: 365–381.
- 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
- Šeffer, J., Lasák, R., Jarolímek, I., Valachovič, M., Stanová, V., Hrivnák, R., Kubandová, M., 2005. Definition of favo-urable conservation status for maintenance of non-forest biotopes of European significance. In: Polák P, Saxa A (eds), *Favourable Status of Biotopes and Species of European Significance. Manual of a Program for Management of Areas of NATURA 2000*. pp. 53–116. Štátna ochrana prírody SR, Banská Bystrica. (in Slovak)
- ([http://www.soprs.sk/natura/doc/monitoring/5/Definition\\_of\\_feasible\\_conservation\\_status\\_of\\_habitas.doc](http://www.soprs.sk/natura/doc/monitoring/5/Definition_of_feasible_conservation_status_of_habitas.doc) (for English version))
- Trdin, N., Bohanec M., Janža, M., 2013. Decision support system for management of water sources. V: *Proceedings of the 16th International Conference Information Society IS 2013*. (ur.), Ljubljana, 7.–11.10.2013, 118–121
- Urbančič, M., 2001. Opis metode ocenjevanja naravne ohranjenosti, spremenjenosti in izmenjanosti gozdov na osnovi deležev drevesnih vrst v njihovi lesni zalogi, Poročilo. V: Hladnik, D. (ur.). *Ohranjanje in primerno povečevanje biotske pestrosti v slovenskih gozdovih*, Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 29 s.
- Van Broekhoven, E., De Baets, B., 2006. Fast and accurate center of gravity defuzzification of fuzzy system outputs defined on trapezoidal fuzzy partitions. *Fuzzy Sets and Systems*, 157, 7: 904–918
- Veselič, Ž., 2000. Pregled rastišč v računalniški bazi ZGS po skupinah in podskupinah rastišč, z navedbo njihove okvirne naravne in modelne drevesne sestave na ravni Slovenije. Slovenian Forest Service, Rokopis.
- Winter, S., McRoberts, R. E., Chirici, G., Bastrup-Birk, A., Rondeaux, J., Brändli, U-B., Ørnelund Nilsen, J-E., Marchetti, M., 2011. The need for Harmonized Estimates of Forest Biodiversity Indicators. In: Chirici G., Winter S., McRoberts R.E. (Eds). *National Forest Inventories: Contributions to Forest Biodiversity Assessments*. Dordrecht, Springer, 206 s.
- Zadeh, LA., 1965. Fuzzy sets. *Information and control* 8, 3: 338–353
- ZGS 2005. *Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Snežnik 2005–2014*. Ljubljana, ZGS, 136 s. (<http://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/>)