



Originalni naučni članak

PRIMENA AHP-A I DONGOVOG MODELA
PRI IZRAČUNAVANJU INDEKSA PODLOŽNOSTI
TERENA ZA NASTANAK ŠUMSKIH POŽARA.
STUDIJA SLUČAJA: NASELJA CRNI VRH I
TOPLI DO (STARA PLANINA)

M.Sc. Natalija Jezdić, dipl. geograf

¹ *Geografski fakultet, Univerzitet u Beogradu,
Studentski trg 3/3, Beograd, Srbija*

**Kontakt: jezdicnatalija24@gmail.com*

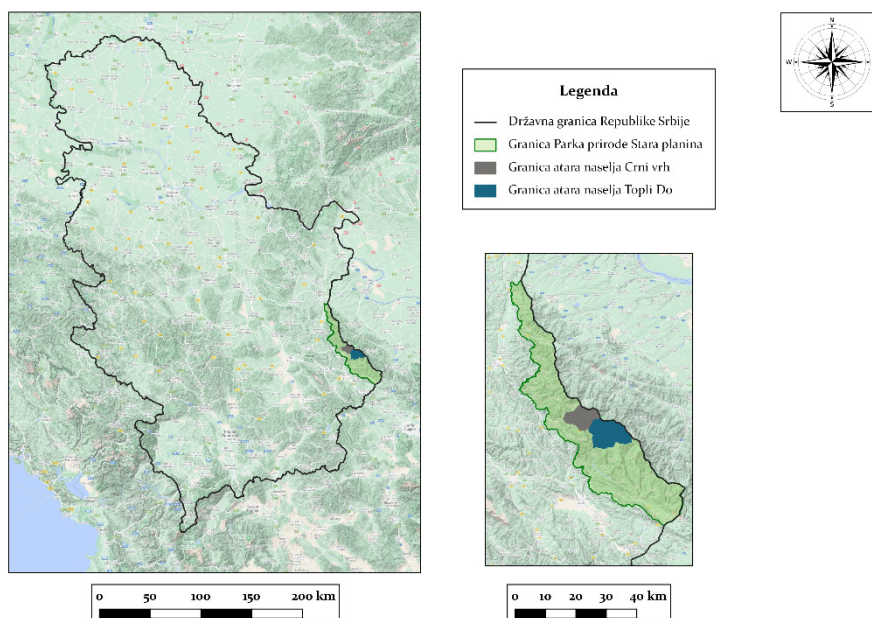
Apstrakt: Područje istraživanja predstavlja analizu podložnosti terena za nastanak šumskih požara na području atara naselja Crni vrh sa površinom od 57.08 km², kao i atara naselja Topli Do površine 96.57 km². Naselja se nalaze u Parku prirode Stara planina na jugoistoku Republike Srbije. Granice atara oba naselja se prostiru na granici Republike Srbije sa Republikom Bugarskom. Istraživano područje je međunarodno značajno radi sprečavanja prodora nastalih šumskih požara u ove dve države. Pri analizi rada korišćen je Dongov model sa indeksima: tip vegetacije (Vt), gustina vegetacije (Vd), nagib terena (S), ekspozicija padina (A), nadmorska visina (E), udaljenosti od puteva (Dr), naseljenih mesta (Ds) i udaljenost od poljoprivrednih površina (Df). Klasifikacijom pomenutih kriterijuma dodate su im odgovarajuće klase: veoma niska podložnost, niska podložnost, srednja podložnost, visoka podložnost i veoma visoka podložnost

terena za nastanak šumskih požara. Korišćen je i AHP model pri poređenju relativnog značaja datih kriterijuma, nakon čega je izvršena komparacija oba modela. Prema metodologiji Dongovog modela, 24% naselja Crni vrh pripada klasi visoke podložnosti terena, dok naselje Topli Do karakteriše 16% u klasi visoke podložnosti. Prema AHP metodologiji, dobijeni rezultati se razlikuju. U naselju Crni vrh 50% teritorije je pod klasom visoke podložnosti, a u naselju Topli Do je pod tom klasom 43% područja.

Ključne reči: podložnost terena za nastanak šumskih požara, naselja Crni vrh i Topli Do, Park prirode Stara planina, Dongov model, AHP.

1. Uvodna razmatranja

Predmet rada predstavlja analiza potencijalne ugroženosti dela zaštićenog područja Stare planine prirodnim nepogodama. Za potrebe rada, ekološki hazard predstavljen je podložnošću terena za nastanak šumskih požara u okviru atara naselja u Parku prirode Stara planina. Naselje Crni vrh teritorijalno obuhvata 57.08 km² površine, dok naselje Topli Do, obuhvata 96.57 km² površine. Naselja se nalaze u Parku prirode Stara planina, koje je pod zaštitom države kao prirodno dobro od izuzetnog značaja, koje se nalazi na jugoistoku Republike Srbije. Oba naselja se nalaze u I, II i III zoni zaštite. I zona zaštite obuhvata 8.52%, II zona 26.77%, a III zona 64.71% teritorije naselja Crni vrh. U I zoni zaštite se nalazi 22.20%, u II zoni 37.22% i u III zoni 40.57% područja naselja Topli Do. Severne, severoistočne i istočne granice atara oba naselja se prostiru duž državne granice Republike Srbije i Republike Bugarske. Ove granice se nalaze na većim nadmorskim visinama na planinskim vrhovima, gde su najviše kote 2043 m za Crni vrh i 2152 m za Topli Do, dok južne i zapadne strane zahvataju niže nadmorske visine.



Slika 1. Karta geografskog položaja područja istraživanja

Naselje Crni vrh pripada opštini Knjaževac u Zaječarskoj oblasti, a naselje Topli Do administrativno pripada Gradu Pirotu u Pirotskoj oblasti. Radi vernijeg prikaza problematike rada istraživana područja su većim delom teritorije zaštićena šumska područja. Prema dostupnim podacima, 73% teritorije naselja Crni vrh pripada pretežno listopadnim šumama, dok je pod ovom vrstom šuma nešto više od 50% površine atara naselja Topli Do.

2. Metodološka postavka istraživanja

Za potrebe analize podložnosti terena za nastanak šumskih požara, korišćena su dva modela. To su Dongov model predikcije podložnosti terena za nastanak požara i Analitički hijerarhijski proces vrednovanja relativnog značaja kriterijuma. Pri izračunavanju indeksa podložnosti terena, korišćeni su sledeći indeksi: tip vegetacije (Vt), gustina vegetacije (Vd), nagib terena (S), ekspozicija padina (A), udaljenosti od puteva (Dr), naseljenih mesta (Ds) i poljoprivrednih površina (Df). Glavni faktor koji utiče na širenje šumskih požara su vrsta i karakteristike vegetacije. Razvijena vegetacija i njene vrste su presudne za širenje požara jer predstavljaju materijal koji

podstiče nastanak požara (*Chuvieco, Congalton, 1989.*). Listopadne, četinarske i mešovite šume predstavljaju klase zemljišta najosetljivije i najugroženije potencijalnim požarima (*Gai et al. 2011*). Areale sa srednjim i visokim vrednostima indeksa gustine vegetacije karakteriše visok stepen podložnosti za nastanak požara (*Rasooli et al. 2018*). Podaci korišćeni za potrebe izračunavanja pokazatelja gustine vegetacije su satelitski podaci tipa Landsat 8. Na osnovu dobijenih snimaka izračunat je indeks ogoljenosti terena **BSI** (*Bare Soil Index, engl.*) radi relevantnijih rezultata dobijenih kombinacijom četiri spektralna kanala (plavi **B**, crveni **R**, bliski infracrveni **NIR** i kratkotalasni infracrveni **SWIR**). Niže vrednosti BSI indeksa ukazuju na područja sa većom gustinom vegetacije (*Milošević, 2020*). Radi vernijih prikaza gustine vegetacije, izračunata je aritmetička srednja vrednost BSI za mesece jun, jul, avgust i septembar 2019.godine.

$$\text{BSI} = ((\text{SWIR} + \text{R}) - (\text{NIR} + \text{B})) / (\text{SWIR} + \text{R}) + (\text{NIR} + \text{B}) + 1$$

$$\text{BSI} = (\text{BSI 06} + \text{BSI 07} + \text{BSI 08} + \text{BSI 09}) / 4$$

Veći nagibi terena utiču na rast brzine širenja požara (*Gigović et al. 2018*). Kada dođe do pojave požara on će se brže širiti na strmijim nego na ravnijem terenu (*Thakur, Singh, 2014*). Požar će se brže širiti uzbrdo jer je plamen postavljen pod uglom, bliže površini tla (*Adab et al.2011; Ajin et al. 2017*). Na severnoj hemisferi, južno orjentisani tereni primaju veću količinu sunčeve energije od severno orjentisanih terena, zbog toga su južne ekspozicije toplije, suvlje i podložnije šumskim požarima (*Sharma et al. 2014*). Zbog veće količine padavina, tereni veće nadmorske visine su manje podložni nastanku požara (*Sharma et al.2012*). Šumske sastojine koje se nalaze u blizini puteva i saobraćajnica predstavljaju područja podložnija nastanku šumskih požara usled mogućeg negativnog uticaja ljudi i prevoznih sredstava. (*Erten et al.2004*). Za šume koje se nalaze u blizini naselja može se reći da su sklonije požaru, jer aktivnosti ljudi mogu izazvati slučajne požare (*Erten et al. 2004*). Šume u blizini obradivih površina su podložne pojavi požara, jer ljudi često pale šume kako bi povećali površinu namenjenu poljoprivrednoj delatnosti (*Rasooli, Bonyad, 2019*).

Tabela 1. Klasifikovani kriterijumi prema klasama podložnosti za nastanak šumskih požara

<i>Klase podložnosti</i>	<i>Vrednovani kriterijumi</i>
1	Vt: / ; Vd: < 0.6 ; S: 0-5° ; A: N ; E: > 1000 m Dr: > 400 m ; Ds: > 3000 m ; Df: > 1000 m
2	Vt: 243 ; Vd: 0.6 – 0.7 ; S: 5-10° ; A: NE, NW, neeksponiran ; E: 800-1000 m ; Dr: 300-400 m ; Ds: 2000-3000 m ; Df: 800-1000 m
3	Vt: 321 ; Vd: 0.7 – 0.8 ; S: 10-20° ; A: E ; E: 600-800 m ; Dr: 200-300 m ; Ds: 1000-2000 m ; Df: 600- 800 m
4	Vt: 324 ; Vd: 0.8 – 0.9 ; S: 20-30° ; A: W ; E: 400–600 m ; Dr: 100-200 m ; Ds: 500-1000 m ; Df: 400-600 m
5	Vt: 311,312,313 ; Vd: > 0.9 ; S: > 30° ; A: SE,S,SW ; E: < 400 m ; Dr: < 100 m ; Ds: < 500 m ; Df: < 400 m

Za potrebe analize korišćeni su podaci baze podataka o fizičkom korišćenju zemljišta Evropske agencije za zaštitu životne sredine - Corine Land Cover (CLC) za referentnu 2018. godinu. Podaci o morfološkim karakteristikama terena su obezbeđeni na osnovu digitalnog modela terena (DEM) preciznosti 25 m, na osnovu baze podataka United States Geological Survey (USGS) instituta. Podaci o strukturi saobraćajne mreže i naseljenih mesta su zasnovani na otvorenim podacima Open Street Map (OSM) baze.

Matematička postavka Dongvog modela

Različiti faktori se koriste za izradu mape podložnosti terena za nastanak šumskih požara. U ovoj studiji je korišćen Dongov model da bi se procenio potencijal rizika od šumskih požara, jer su u njemu uzeti u obzir najvažniji faktori koji utiču na šumske požare. Dongov model podrazumeva formulu:

$$RC = 7*(Vt+Vd)+5*(S+A+E)+3*(Dr+Ds+Df)$$

gde RC predstavlja numerički indeks podložnosti terena za nastanak šumskih požara, Vt i Vd označavaju varijable tipa i gustine vegetacije, S označava varijablu nagiba terena, A varijablu ekspozicije, E varijablu nadmorske visine, dok Dr, Ds i Df ukazuju na varijable udaljenosti od puteva, naseljenih mesta i poljoprivrednih površina (Eskandari et al. 2013).

Matematička postavka AHP metode

Analitički hijerarhijski proces (AHP) je jedan od najčešće korišćenih metoda naučne analize scenarija i donošenja odluka vrednovanjem hijerarhije čije elemente čine ciljevi, kriterijumi, sub-kriterijumi i varijante (Srđević, Jandrić, 2000). Metodološki posmatrano, AHP je višekriterijumska tehnika koja se zasniva na razlaganju složenog problema u jednostavniju formu. Cilj se nalazi na vrhu hijerarhije, dok se kriterijumi, sub-kriterijumi i varijante nalaze na nižim nivoima hijerarhijske strukture. Cilj, koji je deo hijerarhijski struktuiranog modela, se nalazi u vrhu i on se ne poredi ni sa jednim drugim elementom sheme. Na nivou 1 je n kriterijuma, koji se u parovima, svaki sa svakim, porede u odnosu na nadređeni element na višem nivou, tj. cilj (Saaty, 1980). Jedna od najznačajnijih aksioma AHP modela je aksioma recipročnosti. Ona podrazumeva da, ako je element A n puta značajniji od elementa B, tada je element B $1/n$ puta značajniji od elementa A (Despodov et al., 2011). Numerički se izražava na sledeći način:

$$S = 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$$

Nakon određivanja relativnog značaja kriterijuma, gde se kriterijumi porede u parovima (Pogarčić i dr. 2008) vrši se normalizacija matrice kriterijuma pomoću određivanja vektora sopstvenih vrednosti. Nakon toga se izračunava vrednost Indeksa konzistentnosti (CI) za određenu matricu poređenja, a zatim se određuje i vrednost Stepena konzistentnosti (CR), pri čemu vrednost CR mora da odgovara intervalu od 0 do 0.10 (Shahroodi i dr. 2012; Despodov i dr. 2011). Stepen konzistentnosti (CR) izračunava se dovođenjem u odnos vrednosti Indeksa konzistentnosti (CI) i Slučajnog indeksa (RI). (Shahroodi i dr. 2012; Despodov i dr. 2011; Triantaphyllou, Mann, 1995.)

Tabela 2. Satijeva skala za procenu relativnog značaja kriterijuma

Značaj	Definicija	Objašnjenje
1	Istog značaja	Dva elementa su identičnog značaja u odnosu na cilj
3	Slaba dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje neznatno favorizuju jedan element u odnosu na drugi
5	Jaka dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje znatno favorizuju jedan element u odnosu na drugi
7	Demonstrirana dominantnost	Dominantnost jednog elementa potvrđena u praksi
9	Apsolutna dominantnost	Dominantnost najvišeg stepena
2, 4, 6, 8	Međuvrednosti	Potreban kompromis ili dalja podela

Izvor: Saaty, 1980; Saaty, 2008, Pogarčić i dr. 2008;

Tabela 3. Slučajni indeks (RI)

<i>n</i>	1	2	3	4	5
RI	0	0	0,52	0,89	1.11

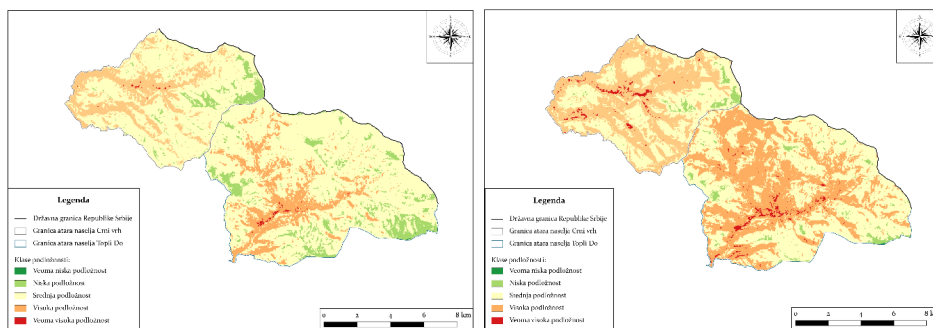
Izvor: Atanasova – Pachemska et al., 2014.

3. Rezultati istraživanja

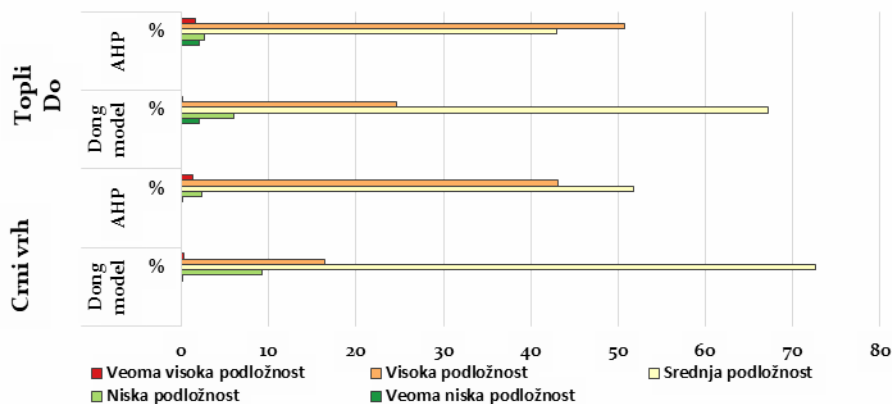
Prilikom primene metode AHP kreirana je dvostepena hijerarhija vrednovanja kriterijuma korišćenih pri analizi stepena podložnosti terena za nastanak šumskih požara.

Tabela 4. Vrednosti koeficijenata prioriteta

Kriterijumi	Vt	Vd	S	A	E	Dr	Ds	Df
Vrednost koeficijenta prioriteta	0.2441	0.1854	0.0827	0.1554	0.0316	0.1555	0.0922	0.0533
Prioritet	1	2	4	3	8	5	6	7



Slika2. Vrednost RC indeksa generisanog primenom Dongovog (levo) i AHP modela (desno)



Slika 3. Procentualno učešće klasa podloznosti po Dongovom, odnosno AHP modelu

Prilikom analize terena podložnog za nastanak šumskih požara, dobijeni su rezultati po klasama podložnosti za Dongov, odnosno za AHP model. Klasama srednje i visoke podložnosti odgovara najveći procenat teritorije naselja Crni vrh i Topli Do. Taj procenat čini 72.54%, tj. 51.75% klase srednje podložnosti prema rezultatima za Dongov, odnosno AHP model za naselje Topli Do. Na teritoriji naselja Crni vrh, klasi srednje podložnosti pripada 67.17% ukupne površine prema Dongovom, odnosno 42.95% prema AHP modelu. Klasama visoke i veoma visoke podložnosti terena u naselju Topli Do pripada 16.63% prema Dongovom modelu, odnosno 44.38% prema AHP modelu. Na području naselja Crni vrh, klasama visoke i veoma visoke podložnosti odgovara 24.77% teritorije prema Dongovom, odnosno 52.33% prema AHP modelu. Klase niske i veoma niske podložnosti

karakteriše procentualni udeo manji od 10% ukupne površine naselja, u slučaju i jednog i drugog modela. Prema AHP metodologiji, prvu zonu zaštite prirode atara naselja Crni vrh karakteriše 4.5% površine umerene podložnosti, dok je u drugoj zoni zaštite najveći udeo (13.1%) pod klasom visoke podložnosti. Prema Dongovom modelu, u okviru prve i druge zone zaštite najveći udeo odgovara klasi umerene podložnosti, 5.74% odnosno 20.4% respektivno prema zonama zaštite.

Prema AHP metodologiji, prvu zonu zaštite prirode atara naselja Topli Do karakteriše 16.3% površine umerene podložnosti, dok je u drugoj zoni zaštite najveći udeo (18.6%) pod klasom visoke podložnosti. Prema Dongovom modelu, u okviru prve i druge zone zaštite najveći udeo odgovara klasi umerene podložnosti, 17.7% odnosno 30.3% respektivno prema zonama zaštite.

4. Zaključna razmatranja

Istraživačka studija podrazumeva kvantifikaciju i kartiranje stepena podložnosti terena za nastanak šumskih požara na području atara naselja Crni vrh i Topli Do, u okviru Parka prirode Stara planina. Identifikacija stepena podložnosti podrazumeva komparativnu analizu Dongovog i AHP modela, na osnovu vrednosti koeficijenata prioriteta korišćenih kriterijuma. Naročito je važna identifikacija areala za koji je karakteristična visoka i veoma visoka podložnost, s obzirom na ekološki potencijal i biodiverzitet celokupnog zaštićenog područja.

Kombinacijom prirodnih i antropogenih faktora prostora (tip i gustina vegetacije, morfološke karakteristike terena, kulturna organizacija prostora), na postulatima definisanih modela (Dongov model, AHP), izvršena je geoprostorna analiza i generisani sintezni rezultati. Njihovim poređenjem i primenom mogu se pružiti relevantne informacije kao podrška odlučivanju odgovarajućim administrativnim strukturama. Rezultati studije mogu se koristiti prilikom procene ugroženosti terena ovom vrstom prirodnih nepogoda, kao i prilikom definisanja strategije integralnog upravljanja rizicima u životnoj i prirodnoj sredini.

5. Reference

1. Adab, H., Kanniah, K.D. & Solaimani, K. (2011). *GIS-based Probability Assessment of Fire Risk in Grassland and Forests Landscapes of Golestan Province, Iran*. International Conference on Environmental and Computer Science, vol. 19, pp. 170-175.
2. Ajin, R.S., Loghin, A.M., Vinod, P.G. & Jacob, M.K. (2017). *Forest Fire Risk Zone Mapping Using RS and GIS Techniques: A Study in Achankovil Forest Division, Kerala, India*. Journal of Earth, Environment and Health Sciences, vol. 2,no. 3, pp. 109-115.
3. Atanasova – Pachemska T., Lapevski M. & Timovski R. (2014). *Analytical hijerarchical process (AHP) method application in the process of selection and evaluation*. International scientific conference, Gabrovo, 2014.
4. Chuvieco, E. & Congalton, R. G. (1989). *Application of Remote Sensing and Geographic Informational Systems to Forest Fire Hazard Mapping*. Remote sensing of environment. 29: 147-159.
5. Copernicus: Land Monitoring Services: www.land.copernicus.eu (posećeno 26. februara 2021.)
6. Despodov, Z., Mitić, S. & Peltečki, D. (2011). *Primena AHP metode za izbor transportnog sistema pri projektovanju rudnika*. Podzemni radovi br. 19, str. 11-17. Rudarsko-geološki fakultet. Beograd.
7. Erten, E., Kurgun, V. & Musaoglu, N. (2004). *Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS a Case Study*.
8. Eskandari, S., Ghadikolaei, J.O., Jalilvand, H. & Saradjian, M.R. (2013). *Detection of Fire High-Risk Areas in Northern Forests of Iran Using Dong Model*. World Applied Sciences Journal, vol.27, pp. 770-773.
9. Gai, C., Weng, W. & Yuan, H. (2011). *GIS-based Forest Fire Risk Assessment and Mapping*. Department of engineering Physics, Institute of Public Safety Research, Tsinghua University, Beijing, China.
10. Gigović, Lj., Jakovljević, G., Sekulović, D. & Regodić, M. (2018). *GIS Multi-Criteria Analysis for Identifying and Mapping Forest Fire Hazard: Nevesinje, Bosnia and Hercegovina*. Tehnički vjesnik, vol. 25, no. 3, pp. 891-897.
11. Milošević, M. (2020). *Implementacija fuzzy AHP metode proširene analize i TOPSIS pristupa u proceni podložnosti terena za nastanak klizišta na primeru slivova reka Grošnice i Pecke*. Univerzitet u Beogradu. Geografski fakultet, master rad.
12. Open street map: www.openstreetmap.org (posećeno 25. februara 2021.)

13. Pogarčić, I., Frančić, M. & Davidović, V. (2008). *Application of AHP Method in Traffic Planning*. ISEP 2008.
14. Rasooli, S.B. & Bonyad, A.E. (2019). *Evaluating the efficiency of the Dong model in determining fire vulnerability in Iran's Zagros forests*. Journal of Forest Research, pp. 1447-1458.
15. Rasooli, S.B., Bonyard, A.E. & Bavaghar, M. (2018). *Forest fire vulnerability map using remote sensing data, GIS and AHP analysis (Case Study: Zarivar Lake surrounding area)*. Caspian Journal of Environmental Sciences, vol. 16, no. 4, pp. 369-377.
16. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill. New York, N.Y.
17. Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. International Journal Services Sciences, volume 1, no. 1, 2008.
18. Shahroodi, K., Keramatpanah, A., Amini, S., Shiri, E., Sayyad, H. & Najibzadeh, M. (2012). *Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) Technique To Evaluate and Selecting Suppliers in an Effective Supply Chain*. Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review, Volume 1, No. 8.
19. Sharma, L.K., Kanga, S., Nathawat, M.S., Sinha, S. & Pandey, P.C. (2012). *Fuzzy AHP for forest fire risk modeling*. Disaster Prevention and Management, vol. 21, issue 2, pp. 160-171.
20. Sharma, N.R., Fernandes, P.J.F. & Pokharel, J.R. (2014). *Methodological Development for Forest Fire Hazard Mapping in Nepal*. Revista Brasileira de Cartografia, vol. 67, pp. 1551-1566.
21. Srđević, B. & Jandrić, Z. (2000). *Analitički hijerarhijski proces u strateškom gazdovanju šumama*. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
22. Thakur, A.K. & Singh, D. (2014). *Forest Fire Zonation Using Geospatial Techniques and Analytic Hierarchy Process in Dehradun District, Uttarakhand, India*. Universal Journal of Environmental Research and Technology, vol. 4, issue 2, pp. 82-89.
23. Triantaphyllou, E. & Mann, S. (1995). *Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges*. International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, volume 2, no. 1, pp 35-44.
24. United States Geological Survey: www.earthexplorer.usgs.gov (posećeno 28. februara 2021.)

Originalni naučni rad

APPLICATION OF AHP AND DONG MODEL IN CALCULATING FOREST FIRES SUSCEPTABILITY INDEX. CASE STUDY: SETTLEMENTS CRNI VRH AND TOPLI DO (STARA MOUNTAIN)

M.Sc. Natalija Jezdić, dipl. geograf

¹ *Faculty of Geography, Univerzitet u Beogradu,*

Studentski trg 3/3, Beograd, Srbija

**Kontakt: jezdicnatalija24@gmail.com*

Abstract: The field of research represents susceptibility analysis of the terrain to forest fires in the area of the Crni vrh settlement with 57.08 km², and the area of the Topli Do settlement with 96.57 km². Both settlements are located in the Nature Park Stara mountain in the southeastern part of the Republic of Serbia. The borders of these settlements are located on the state border between Republic of Serbia with the Republic of Bulgaria. The research area is internationally important for preventing the breach of forest fires in both countries. In the work analysis the Dong model was used with the following indices: vegetation type (Vt), vegetation density (Vd), slope (S), aspect (A), elevation (E), distances from roads (Dr), from settlements (Ds) and distance from farmlands (Df). By classifying the mentioned criteria, the appropriate classes were added to them: very low susceptibility, low susceptibility, medium susceptibility, high susceptibility, very high susceptibility. The AHP model was also used to compare the relative importance of the criteria after which a comparison of both models was performed. According to the methodology of Dong model, 24% of the settlement Crni vrh is in class of high susceptibility, while settlement Topli Do is characterized by 16% in that class. According to AHP methodology, obtained results are different. In the settlement Crni vrh 50% of the territory is in class of high susceptibility, and in settlement Topli Do 43% is in the same class.

Key words: susceptibility of terrain to forest fires, settlements Crni vrh and Topli Do, Nature Park Stara mountain, Dong model, AHP.