

Primljeno / Received: 25.5.2021.
Prihvaćeno / Accepted: 29.6.2021.

UDK 528.92:614.841.42
Stručni rad / Professional article

PRIMJENA VIŠEKRITERIJSKIH GIS ANALIZA U IZVOĐENJU INDEKSA RIZIKA IZBIJANJA OTVORENIH POŽARA I OPTIMIZACIJA VATROGASNIH INTERVENCIJA NA PODRUČJU NP KRKA

APPLICATION OF MULTICRITERIA GIS ANALYSIS IN DERIVATION OF THE WILDFIRE IGNITION INDEX AND OPTIMIZATION OF FIREFIGHTING INTERVENTIONS IN THE NP KRKA

Ante Šiljeg, Rina Milošević, Ivan Marić

SAŽETAK

U radu se prikazuju mogućnosti implementacije GIS-a u preventivnoj fazi vatrogasnog djelovanja za područje Šibensko-kninske županije. Primijenjena je višekriterijska GIS analiza (GIS-MCDA) u izvođenju indeksa rizika izbijanja otvorenih požara. Korištene su četiri grupe kriterija: vegetacija, geomorfometrija, antropogeni utjecaj i klimatski elementi. Izvedeni su modeli na temelju metode donosioca odluka kroz (1) iskustvo zapovjednika iz lokalne sredine i (2) primjerom dobre prakse. Nadalje, analizirana je pokrivenost te prohodnost putova Nacionalnog parka (NP) Krka unutar standardnog vremena intervencije iz nadležnih vatrogasnih postrojbi. Izdvojene su najbliže vatrogasne postrojbe i najbrže rute do najugroženijih zona unutar NP Krka. Rezultati ukazuju kako područje Šibensko-kninske županije spada u zonu umjereno/umjereno-visokog rizika izbijanja požara te da pokrivenost putova NP Krka unutar standardnog vremena intervencije nije zadovoljavajuća.

Ključne riječi: *višekriterijska GIS analiza, AHP, NP Krka, Šibensko-kninska županija*

ABSTRACT

This paper demonstrates the possibilities of GIS implementation in the preventive phase of firefighting activities for the Šibenik-Knin County. Multicriteria GIS analysis (GIS-MCDA) was applied in derivation of the wildfire risk ignition index. Four groups of criteria were used: vegetation, geomorphometry, anthropogenic impact, and climate elements. Wildfire risk ignition models were derived based on the decision-maker method through (1) the experience of the local fire commander and (2) following the examples of good practice. Furthermore, the coverage and the passability of the National park (NP) Krka roads were analyzed in relation to the standard intervention time from the competent fire brigades. The nearest fire brigades and the fastest routes to the most endangered zones within the NP Krka have been derived. The results indicate that the area of Šibenik-Knin County belongs to the moderate/moderately high risk of fire ignition and that the coverage of the NP Krka roads within the standard intervention time is not satisfactory.

Keywords: *multicriteria GIS analyze, AHP, NP Krka, Šibenik-Knin County.*

1 UVOD

Požari otvorenog prostora na godišnjoj razini uništavaju velike šumske površine i imaju katastrofalne posljedice na okoliš (Podur i dr., 2003), (Moritz i dr., 2012), (Littell i dr., 2016), (Bui i dr., 2017). U Republici Hrvatskoj (RH) ova prirodna prijetnja je česta pojava, osobito u priobalnim prostorima u sušnim ljetnim mjesecima (Jurjević i dr., 2009), (Držaić i dr., 2014). Takvi požari predstavljaju jedan oblik ekološke katastrofe, a obnova šumâ traje desetljećima (Šiljković, 1997), (Ager i dr., 2007), (Jurjević i dr., 2009).

Različite strategije i modeli upravljanja vatrogasnim intervencijama se donose s ciljem smanjenje rizika izbijanja i širenja požara otvorenog prostora (Viegas i dr., 1999), (Taylor i Alexander, 2006). Prostorna komponenta u vatrogastvu ima ključnu ulogu u izradi planova optimizacije i upravljanja vatrogasnim intervencijama (Setiawan i dr., 2004), (Vadrevu i dr., 2009), (Arianoutsou i dr., 2011), (Netolicki i dr., 2012), (Kamran i dr., 2014), (Kant Sharma i dr., 2014), (Roland i dr., 2015). Vatrogasne intervencije sastoje se od preventivne i operativne faze. Prevencija se smatra najbitnijom, jer je učinkovitija i jeftinija, a najkritičniji faktor pri suzbijanju požara je operativna koordinacija (Psilovikos i dr., 2011). Prevencija uključuje niz mjera poput čišćenja šuma od zapaljivih materijala, konstrukciju i održavanje šumskih puteva, osiguravanje dostupnih izvora vode te kontinuirano motrenje terena (Taylor i Alexander, 2006), (Psilovikos i dr., 2011). Preventivna faza još uključuje prepoznavanje požara u nastanku te osiguravanje brze intervencije unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju, odnosno unutar 15 minuta (Taylor i Alexander, 2006), (Szabo, 2001). Dakle, neovisno o tipu požara, cilj vatrogastva je minimizirati štetu nastalu kao posljedicu požara. Zbog toga je važno provesti protupožarne mjere, koje zahtijevaju detaljno poznavanje područja zaštite. U tom kontekstu do izražaja dolazi geografski informacijski sustav (GIS) koji upravlja prostornim podacima, analizira ih te pretvara u korisne informacije – modele koji svoju primjenu nalaze u praksi (Longley i dr., 2005), (Tomlinson, 2007). GIS, kao sustav podrške pri odlučivanju (engl. DSS¹), omogućuje optimizaciju vatrogasnih intervencija, kako na strategijskoj tako i na taktičkoj razini (Viegas i dr., 1999), (Dimopoulou i Giannikos, 2004), (Taylor i Alexander, 2006), (Roland i dr., 2015). Uz pomoć GIS-a mogu se ispitati teoretski modeli upravljanja te primjenom i usporedbom različitih metoda dobiti optimalna rješenja (Longley i dr., 2005), (Tomlinson, 2007).

Važna mjera u prevenciji požara je izvođenje indeksa rizika izbijanja požara (*Forest Fire Risk Index*, *Fire Ignition Index* i sl.) (Stipaničev i dr., 2007), (Vasilakos i dr., 2009). Procjena rizika izbijanja požara uključuje identificiranje i kvantifikaciju različitih varijabli te u konačnici izračun reprezentativnog pokazatelja. Može ukazivati na podložna područja za izbijanje požara i pružiti osnovu za upravljanje intervencijama, a smatra se ključnim elementom u analizi i procjeni opasnosti od požara (Vasilakos i dr., 2007), (Catry i dr., 2010). Indeks se odnosi na stupanj rizika izbijanja požara raslinja i vezan je uz određeno zemljopisno područje. Najčešće se izvode višekriterijskom GIS analizom (GIS-MCDA²) (Gigović i dr., 2018).

¹ Decision Support System

² Multicriteria Decision Analysis

GIS-MCDA može se definirati kao model donošenja odluka koji se sastoji od skupa rješenja, kriterija te vrijednosti (težinski koeficijent) svake varijante po svakom kriteriju (Hajkowicz i Collins, 2007), (Deluka-Tibljaš i dr., 2013). GIS-MCDA koriste se s ciljem donošenja odluka, kada više postavljenih kriterija utječu na konačni rezultat (Mendas i Delali, 2012), (Kant Sharma i dr., 2014), (Abudeif i dr., 2015), (Gigović i dr., 2016). Kriteriji su opisna svojstva koja se razmatraju, kombiniraju, vrednuju te uobličuju u pravila prilikom donošenja odluka. Vrednovanje mogućih odluka podložno je subjektivnom dojmu donosioca odluke te ovisi o vrijednostima, odnosno težinskim koeficijentima kriterija (Saaty, 1990), (Malczewski, 1999), (Greco i dr., 2016). Sustav daje matematičko rješenje, a na stručnjaku je da kontrolira dobivene rezultate.

Pri modeliranju rizika izbijanja požara mogu se koristiti različite grupe čimbenika (klastera). Najčešće su korišteni: (a) morfometrija (Setiawan i dr., 2004), (Vadrevu i dr., 2009), (Arianoutsou i dr., 2011), (Kamran i dr., 2014), (Suryabhadgavan i dr., 2016); (b) povijesne lokacije požara (Chuvieco i Salas, 1996), (Patah i dr., 2001), (Roland i dr., 2015); (c) antropogeni čimbenici (Kalabokidis i dr., 2002), (Netolicki i dr., 2012), (Kamran i dr., 2014); (d) gorivi materijal (Kalabokidis i dr., 2002), (Vadrevu i dr., 2009), (Arianoutsou i dr., 2011), (Kant Sharma i dr., 2014), (Roland i dr., 2015), (Suryabhadgavan i dr., 2016); (e) vremenski uvjeti/ klimatski elementi (Kalabokidis i dr., 2002), (Vadrevu i dr., 2009).

U ovom istraživanju prikazane su mogućnosti primjene GIS-a unutar preventivne faze vatrogasnih intervencija na prostoru Šibensko-kninske županije, odnosno Nacionalnog parka (NP) Krka. Naime, s obzirom na to da je preventivna razina od presudne važnosti za sprječavanje izbijanja požara postavljeni su temeljni ciljevi istraživanja:

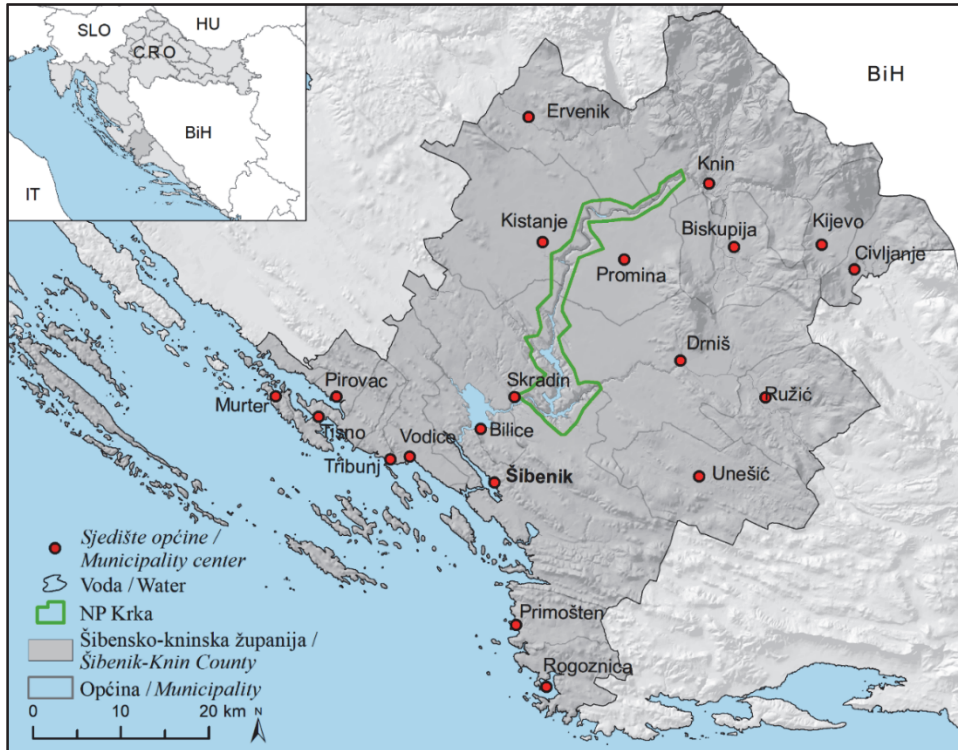
- A) generirati indeks rizika izbijanja otvorenog požara za prostor Šibensko-kninske županije,
- B) analizirati prohodnost i pokrivenost putova unutar NP Krka s obzirom na standardno vrijeme intervencije i
- C) izdvojiti najbliže vatrogasne postrojbe i najbrže rute do lokacija najvećeg rizika izbijanja otvorenog požara unutar NP Krka.

2 PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANJA

Prostorni obuhvat istraživanja je Šibensko-kninska županija (Slika 1). Smještena je na jugu RH, u središnjem dijelu sjeverne Dalmacije (Magaš, 2013). Na sjeveru graniči sa Zadarskom županijom, južno sa Splitsko-dalmatinskom, na istoku s Bosnom i Hercegovinom (BiH) i na zapadu tvori dio jadranske morske granice s Italijom (IT). Šibensko-kninska županija spada u požarima najugroženije županije u RH, a uzrok tome su klimatski uvjeti u ljetnim mjesecima, konfiguracija terena i vegetacijska obilježja ovog prostora. Naime, na prostoru Šibensko-kninske županije 2017. godine izvedene su 1203 vatrogasne intervencije na požarima otvorenog prostora (Šibensko-kninska županija, n.d.). Nadalje, samo na prostoru Grada Šibenika, koji obuhvaća površinu od 404,93 km², u razdoblju od 2003. do 2013. zabilježeno je čak 1735 požara otvorenog

prostora (Razvojna agencija ŠK županije, 2011). Ovakvi tipovi požara zahtijevaju veći broj vatrogasaca, veće vremensko angažiranje te su u pravilu sezonskog karaktera.

S obzirom na to da se na prostoru Županije nalazi NP Krka, koji prema Zakonu o zaštiti prirode spada u zaštićena područja, analiza zona dostupnosti operativnih vatrogasnih postrojbi s obzirom na standardno vrijeme intervencije izvedena je upravo za taj prostor (NN 80/13, 15/18).



Slika 1. Prostorni obuhvat istraživanja

3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

3.1 Višekriterijska GIS analiza (GIS-MCDA)

Modeli rizika izbijanja otvorenih požara izdvojeni su GIS-MCDA te metodom analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP³). U procesu je korišteno 8 kriterija (Tabela 1). U AHP matrici su određene relativne važnosti pojedinih kriterija metodom rangiranja s ciljem izračuna težinskih koeficijenata. U radu je izvršena usporedba modela (scenarija) dobivenih metodom donosioca odluka kroz različito vrednovanje kriterija. Kriteriji su vrednovani prema (1) iskustvu zapovjednika iz lokalne sredine (Model 1), te (2) na temelju primjera dobre prakse (Model 2).

³ Analytic Hierarchy Process

Klasificirani su u šest klasa od kojih svaka ukazuje na određenu razinu rizika izbijanja požara. Klasifikacija kriterija te izvedenih modela izvršena je metodom jednakih intervala (engl. *equal interval*) (Kant Sharma i dr., 2014), (Suryabhagavan i dr., 2016).

3.1.1 Odabir kriterija GIS-MCDA

Proučavanjem dosadašnjih istraživanja (Tabela 1) i kroz razgovor sa zapovjednikom JVP⁴ Šibenik (u.p. Milošević, V. 2017) određeno je da se u procesu modeliranja rizika izbijanja otvorenih požara na prostoru Šibensko-kninske županije koriste četiri grupe kriterija (Tabela 1):

- (1) vegetacija (tip gorivog materijala)
- (2) geomorfometrija (nagib, nadmorska visina, ekspozicija)
- (3) antropogeni utjecaj (udaljenost od naselja i prometnica)
- (4) klimatski elementi (temperatura i padaline)

Tabela 1
Definirani GIS-MCDA kriteriji

Grupe	Kriteriji	Jedinica	Izvor	Reference
(A)	Vegetacija	Tip gorivog materijala	Sentinel 2a	Kalabokidis i dr., 2002.; Arianoutsou i dr., 2011.; Kamran i dr., 2014.; Kant Sharma i dr., 2014.
	Nagib	°		
	Nadmorska visina	m		Kalabokidis i dr., 2002; Setiawan i dr., 2004.; Vadrevu i dr. 2009.; Arianoutsou i dr., 2011.; Netolicki i dr., 2012.,
(B)			EU-DEM (25 m)	Kamran i dr., 2014; Kant Sharma i dr., 2014.; Suryabhagavan i dr., 2016.
	Ekspozicija	°		
(C)	Udaljenost od naselja	m	DGU RH	Kalabokidis i dr., 2002; Netolicki i dr., 2012.
	Udaljenost od cesta	m	Geofabrik	Kamran i dr., 2014.; Kant Sharma i dr., 2014. Suryabhagavan i dr., 2016.
(D)	Temperatura	°C	DIVA-GIS (1 km)	Kalabokidis i dr., 2002; Vadrevu i dr., 2009.;
	Padaline	mm	DIVA-GIS (1 km)	

⁴ Javna vatrogasna postrojba

3.1.1.1 Vegetacija

Model zemljišnog pokrova je izdvojen metodom nadzirane klasifikacije na temelju multispektralnog snimka (Sentinel 2a) prostorne rezolucije 10 m (USGS Earth Explorer, n.d.) koristeći klasifikator najveće izglednosti (engl. *Maximum Likelihood Classifier* - MLC). Kod preuzimanja snimaka kriterij je bio da sadrže što manje oblaka ili da ih uopće nema. Snimci su snimljeni u mjesecima protupožarne sezone, odnosno u vegetacijskom periodu. Izdvojene vegetacijske zone klasificirane su prema stupnju zapaljivosti odnosno vrsti gorivog materijala na temelju iskustva stručne osobe (u.p. Milošević, 2017) te putem vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (engl. *Normalized Difference Vegetation Indeks* - NDVI) uz usporedbu s digitalnom ortofoto kartom (DOF), preuzetom preko WMS (engl. *Web Mapping Service*) poslužitelja Državne geodetske uprave (DGU, n.d.).

3.1.1.2 Geomorfometrijski parametri

Za izračun morfometrijskih parametara korišten je digitalni model reljefa za područje Europe (EU-DEM⁵), koji je izrađen u sklopu *Copernicus* programa (Bashfield i Keim, 2011), (Varga i Bašić, 2013), (Šiljeg i dr., 2018), (EOxClient, n.d.). EU-DEM, prostorne rezolucije 25 m, je hibridni proizvod temeljen na SRTM⁶ i ASTER⁷ GDEM⁸ podacima povezanim metodom težinskog prosjeka (Bashfield i Keim, 2011), (Varga i Bašić, 2013), (Šiljeg i dr., 2018).

Nagib je najkorišteniji morfometrijski parametar u analizama rizika (Duan i Grant, 2000), (Althuwaynee i Pradhan, 2017), (Šiljeg i dr., 2018). Klasificiran je u šest kategorija rizičnosti metodom jednakih intervala (Kamran i dr., 2014), (Kant Sharma i dr., 2014), (Suryabhagavan i dr., 2016). Što je nagib veći to je veći i rizik izbijanja požara (Varela i dr., 2003), (Patah i dr., 2001).

Ekspozicija padine je važna jer prisojne padine primaju veću količinu sunčeve radijacije što pogoduje razvoju požara (Patah i dr., 2001), (Netolicki i dr., 2012). Sjeverne i sjeveroistočne padine spadaju u kategoriju najmanjeg rizika izbijanja požara. Visoki rizik imaju jugoistočne padine, dok se južna ekspozicija smatra najrizičnijom u izbijanju požara.

Područja na većim nadmorskim visinama imaju manju vjerojatnost izbijanja požara (Vadrevu i dr., 2009), (Suryabhagavan i dr., 2016). Nadmorska visina je klasificirana tako da prva najniža visina kategorizacije iznosi 200 metara i predstavlja veoma visok rizik izbijanja požara. Kategorija od 1000 i više metara predstavlja veoma nizak rizik izbijanja požara.

3.1.1.3 Antropogeni utjecaj

Za gotovo 60-70 % registriranih požara uzrok nastanka ostaje nepoznat (Bakšić i dr., 2015). Od poznatih uzroka, samo je 10 % nastalo prirodno (udar groma), a 90 % je posljedica slučajnog ili

⁵ The Digital Elevation Model over Europe

⁶ Shuttle Radar Topography Mission

⁷ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

⁸ Global Digital Elevation Model

namjernog djelovanja čovjeka (nepažnja, paljenje poljoprivrednog otpada, namjerno paljenje, promet, električni vodovi, mine i ostalo) (Bakšić i dr., 2015). Od mogućih antropogenih kriterija u ovom su radu razmotreni udaljenost od prometnica i udaljenost od naselja (Kalabokidis i dr., 2002), (Varela i dr., 2003), (Netolicki i dr., 2012), (Kamran i dr., 2014), (Kant Sharma i dr., 2014), (Suryabhadgavan i dr., 2016). Mreža prometnica koja se koristila za izvođenje modela udaljenosti od prometnica i analizu dostupnosti preuzeta je sa stranica *Geofabrika*, dok su naselja u *.shp* formatu preuzeta iz baze podataka Državne geodetske uprave (DGU RH, 2009), (Geofabrik, n.d.). Udaljenost od naselja i prometnica metodom jednakih intervala razvrstana je u šest kategorija rizika izbijanja požara. Korišten je interval udaljenosti od 200 metara, pri čemu je najveća kategorija ugroženosti najbliža. Dakle, s povećanjem udaljenosti od naselja i cesta opada rizik izbijanja otvorenog požara.

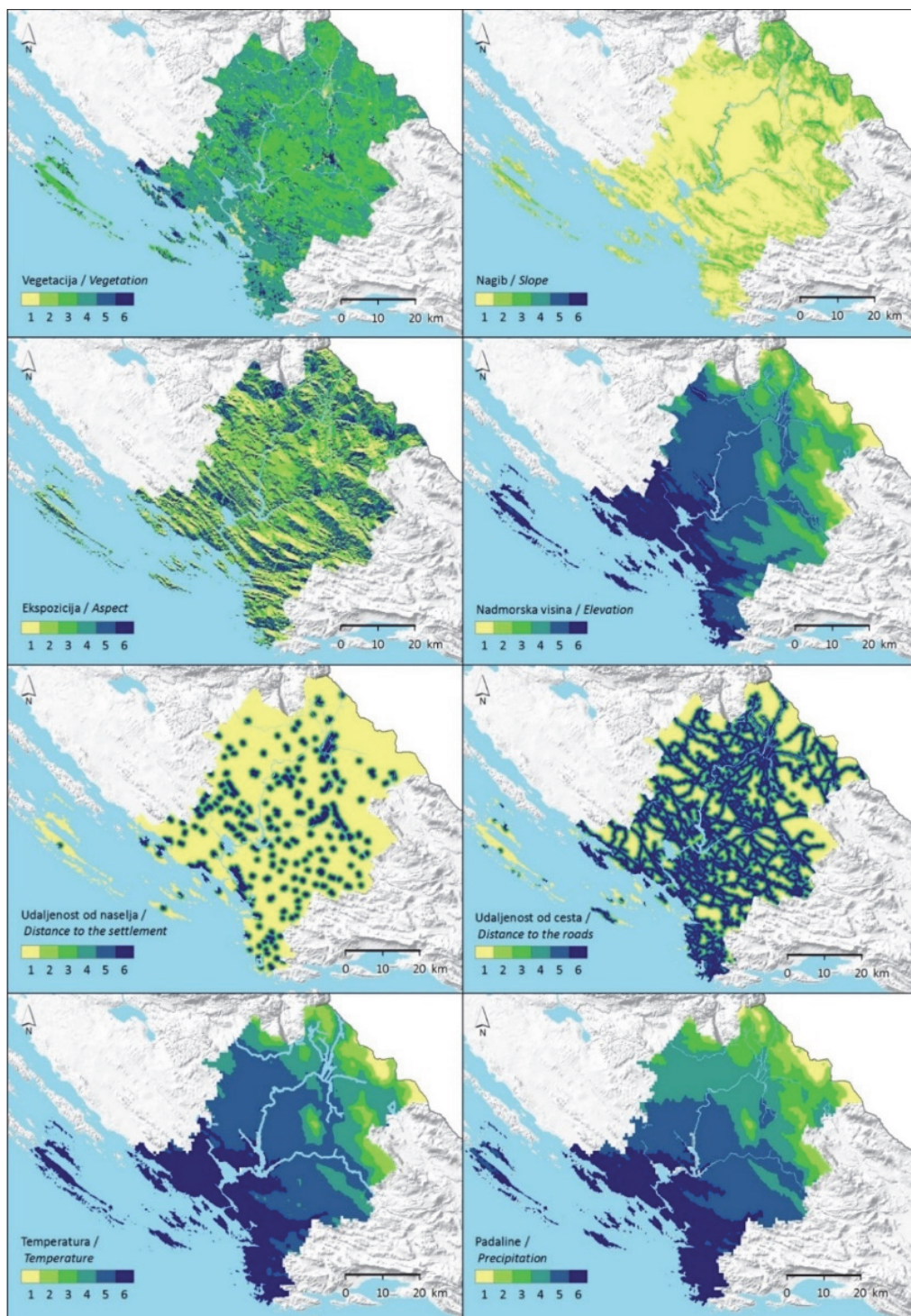
3.1.1.4 Klimatski elementi

Izbijanje, intenzitet i širenje požara uvelike su uvjetovani vremenskim prilikama nekog područja (Vadrevu i dr., 2009), (Netolicki i dr., 2012). Klimatski elementi koji su se razmatrali u ovome radu su temperatura zraka i količina padalina. Na području Šibensko-kninske županije prevladavaju visoke ljetne temperature, što povećava rizike izbijanja požara. Velika količina padalina na nekom području donosi veću vlažnost gorivom materijalu, odnosno vegetaciji, što smanjuje rizik izbijanja požara, i obrnuto. Klimatski podaci su preuzeti sa stranica *DIVA-GIS*-a, poslužitelja koji distribuira različite prostorne podatke u prepoznatljivim formatima (*DIVA GIS*, n.d.). Podatci su grube razlučivosti, odnosno rasterski slojevi temperature zraka i količine padalina imaju prostornu rezoluciju od približno 800 m. Podatci su inicijalno preuzeti za svaki od 4 mjeseca protupožarne sezone (lipanj – rujan), da bi se nakon toga korištenjem alata *Raster calculator* izračunale srednje vrijednosti kao reprezentativni pokazatelj.

Dakle, nakon definiranja izvedena je standardizacija kriterija. Kriteriji su klasificirani prema riziku izbijanja požara pri čemu klasa 1 označava najmanju vjerojatnost izbijanja požara, a 6 najveću (1-jako nizak; 2-nizak; 3-umjeren, 4-umjerenom visok, 5-visok, 6-jako visok) (Kant Sharma i dr., 2014).

3.1.2 Vrednovanje kriterija primjenom AHP metode

Nakon definiranja svih kriterija rangiran je njihov stupanj utjecaja na izbijanje otvorenih požara, tako da su postavljeni u međusobni odnos te su im izračunati pripadajući težinski koeficijenti. U procesu su generirana dva modela rizika izbijanja požara. Naime, rangiranje kriterija je izvršeno pomoću (1) zapovjednika iz lokalne sredine - JVP Šibenik (Model 1) te na temelju (2) primjera dobre prakse (Model 2), odnosno dostupne literature. Veličina težinskog koeficijenta ukazuje na razinu utjecaja kriterija na izbijanje požara. Veći težinski koeficijent označava veću ulogu kriterija u izbijanju požara (Paralikas i Lygeros, 2005).



Slika 2. Standardizirani kriteriji korišteni u GIS-MCDA

3.2 Analiza prohodnosti i pokrivenosti putova te vremena intervencije – NP Krka

3.2.1 Prikupljanje podataka i topološka provjera

Analiza prohodnosti putova na prostoru NP Krka uključivala je vektorizaciju šumskih putova na temelju DOF-a te pridruživanja atributa širine izmjerene pomoću GIS alata Measure. Podatci o širini vatrogasnih vozila, potrebni za klasifikaciju putova prema prohodnosti, prikupljeni su usmenim priopćenjem zapovjednika JVP-a Šibenik (u.p. Milošević, 2017).

Analiza pokrivenosti je napravljena na temelju podataka cestovne infrastrukture preuzete sa stranica *Geofabrika*. Izvršena je planarizacija te topološka provjera i korekcija prema sljedećim topološkim pravilima: 1) *must not overlap*; 2) *must not self overlap* 3) *must not intersect*, 4) *must not self intersect*, 5) *must be single line*. Nadalje, izvršena je klasifikacija prometnica (autocesta, brza cesta, državna, županijska, lokalna cesta, makadam i ostale ceste). Za provjeru topologije korištena je Topografska karta Republike Hrvatske u mjerilu 1:25000 te DOF s WMS poslužitelja *Državne geodetske uprave* (DGU, n.d.). Potom je pridodan atribut maksimalne brzine kretanja vozila prema pojedinom tipu prometnice. U kontekstu ograničenja brzine za vatrogasna vozila ne vrijede prometna pravila te je procjena maksimalne brzine određena prema iskustvu vatrogasnog zapovjednika (u.p. Milošević, 2017). Nakon uređivanja topologije i dodavanja atributa, izrađen je *New Network Dataset* – model cestovne mreže s informacijama o jednosmjernim ulicama, zabranama polukružnih okretanja, itd.

3.2.2 Klasifikacija prohodnosti putova za vatrogasna vozila

Kretanje vatrogasnih vozila uglavnom je određeno postojanjem putova, dok je ljudstvo značajno fleksibilnije po pitanju kretanja po terenu. Među tehničkim karakteristikama šumskih cesta koje utječu na prohodnost vozila najvažnija je širina puta u kombinaciji s nagibom (Psilovikos i dr., 2011). Širina puta naravno mora biti veća od širine vozila inače se smatra neprohodnim. U ovom radu tehničke karakteristike šumskih putova izdvojene su tako da pogoduju tipovima vozila kojima raspolaže JVP Šibenik. Dakle, kao osnovni faktor prohodnosti uzeta je širina putova u odnosu na širinu vozila (Tabela 2). Širina puta mora biti barem jedan metar veća od širine vozila kako bi prolaz bio siguran.

Tabela 2

Potrebna širina puta za pojedini tip vozila (Izvor: usmeno priopćenje Milošević, 2017.)

Tip vozila	Širina vozila (m)	Masa vozila (kg)	Nužna širina puta za prolaz vozila (m)
Zapovjedno vozilo (ZV)	1,6	1000	2,6
Malo šumsko vozilo (MŠV)	1,9	6000	2,9
Srednje šumsko vozilo (SŠV)	2,4	13330	3,4
Veliko šumsko vozilo (VŠV)	2,5	16900	3,5
Auto-cisterna (AC)	2,5	16900	3,5

Dakle, zapovjedno vozilo koje ima širinu 1,6 metara zahtjeva minimalnu širinu staze 2,6 metra. To je najmanje vozilo JVP-a od izdvojenih pet tipova, zbog čega se širina puta $< 2,6$ metra smatra neprohodnom za vatrogasna vozila. Na području NP Krka prema navedenim podatcima o širini vozila izdvojene su četiri kategorije putova (Tabela 3). Prva kategorija odnosi se na putove neprohodne vatrogasnim vozilima, druga su kategorija putovi prilagođeni samo za zapovjedno vozilo, treća kategorija uključuje putove pogodne za mala i srednja šumska vozila, dok četvrta obuhvaća one kojima mogu prolaziti svi tipovi vozila.

Tabela 3

Kategorije šumskih putova s obzirom na mogućnost prolaza vatrogasnih vozila (Izvor: usmeno priopćenje - Milošević, 2017.)

	Kategorije putova	Širina puta (m)
1	Neprohodno	$< 2,6$
2	Prohodno zapovjednom vozilu	2,6 - 3
3	Prohodno zapovijednom, malim i srednjim šumskim vozilima	3 - 3,4
4	Prohodno svim vozilima	$> 3,4$

3.2.3 Izračun pokrivenosti putova i vremena intervencije – NP Krka

Analiza pokrivenosti putova napravljena je za pet vatrogasnih postrojbi nadležnih za NP Krka, koje uključuju: (a) tri javne vatrogasne postrojbe (engl. *public fire brigade* - PFB): JVP Drniš, JVP Knin, JVP Šibenik te (b) dva dobrovoljna vatrogasna društva (engl. *volunteer fire brigade* - VFB): DVD Dubravice i DVD Skradin. Korištena je ekstenzija ArcGIS-a *Network Analyst - Service Area*. U slučaju požara, u NP Krka koristi se pet tipova vozila koja su karakteristična za požare otvorenih prostora. To su zapovjedno vozilo, malo šumsko vozilo, srednje šumsko vozilo, veliko šumsko vozilo te auto-cisterna (u.p. Milošević, 2017). Osnovna razlika između navedenih vozila je količina vode koju dopremaju, a međusobno se razlikuju i po masi, broju sjedala i maksimalnoj brzini koju mogu dosegnuti (u.p. Milošević, 2017). Masivnija vozila, s mogućnošću dopremanja veće količine vode mogu doseći manju brzinu na navedenim prometnicama. Prema tome zapovjedno vozilo dostiže najveću brzinu, a auto-cisterna najmanju. Malo i srednje šumsko vozilo imaju jednaku maksimalnu brzinu, ovisno o tipu prometnice nešto veću od velikog šumskog vozila. S obzirom na to da se vozila ne mogu kretati jednakom maksimalnom brzinom, za svaki pojedinačni tip vozila izračunato je vrijeme potrebno za intervenciju.

Ekstenzija ArcGIS-a *Network Analyst - New Route* korištena je u fazi optimizacije vatrogasnih intervencija, odnosno odabiru najkraćih ruta te izračunu vremena intervencije od vatrogasnih postaja do zona najvećeg rizika izbijanja požara koje su izvedene s GIS-MCDA.

4 REZULTATI I RASPRAVA

4.1 Distribucija standardiziranih kriterija prema riziku izbijanja požara

Na području Šibensko-kninske županije izdvojeni su različiti tipovi vegetacije (Slika 2) po zapaljivosti. Primjerice, hidrofilne biljke po svojoj prirodi spadaju u slabo zapaljivu vegetaciju, te se svrstavaju u kategoriju najmanjeg rizika izbijanja požara. Neobrasle i slabo obrasle površine te već opožarena područja nisko su zapaljiva. Umjerene zapaljivosti su segmenti šuma s višim NDVI indeksom, dakle šume s većim udjelom klorofila, koji ukazuje na zdravlje i zelenilo vegetacije (Patah i dr., 2001). Naime, zdravija, odnosno „zelenija“ vegetacija ukazuje na veću vlažnost što utječe na manji rizik izbijanja otvorenog požara. U ovu skupinu spadaju relativno vlažne livade riječnih dolina, voćnjaci i kamenjarski pašnjaci (Bakšić i dr. 2015). Umjereno visoke zapaljivosti su travnjaci, maslinici, vinogradi te šume sa srednjim NDVI-om. U kategoriju visoke zapaljivosti svrstani su suhi travnjaci, korovna vegetacija, te od mediteranske šikare samo smrika (Rosavec i dr., 2013). U najugroženiju skupinu spadaju zapuštene poljoprivredne površine, mediteranska šikara (bušici ružmarina, dračici, brnistra itd.) i šumski tipovi s najnižim NDVI-om (Rosavec i dr., 2013).

Najraširenija klasa nagiba, koja obuhvaća oko 40 % površine, je od 10 - 20°, a svrstana je u kategoriju niskog rizika izbijanja požara (Slika 2). Sljedeća skupina nagiba (27 % površine) je kategorija jako niskog rizika izbijanja požara, a obuhvaća nagibe manje od 10°. Kategorije visokog i jako visokog rizika izbijanja požara zastupljene su tek na pojedinim dijelovima županije, najviše na prostoru NP Krka u samom kanjonu Krke te u podnožju Dinare, odnosno na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu županije, uz granicu s BiH. Ove dvije kategorije zajedno obuhvaćaju nešto više od 1,5 % površine.

U kontekstu ekspozicije, najraširenija je klasa niskog rizika izbijanja požara, odnosno dominantni smjer pružanja padine je zapadni i sjeverozapadni (Slika 2). Slijedi, po zastupljenosti, klasa visokog rizika izbijanja požara, odnosno padine jugozapadnog smjera pružanja. Na prostoru NP Krka dominantan smjer pružanja (zapad, sjeverozapad) je također u kategoriji niskog rizika. Najrizičnija klasa na prostoru NP je zastupljena tek 4 %, a na području cijele županije 11 %.

Najzastupljenija kategorija u kriteriju nadmorske visine je ona visokog rizika izbijanja požara koja obuhvaća unutrašnjost županije, točnije područje općina Ervenik, Kistanje, veći dio općina Drniš i Promina, te manje segmente gradova Šibenika, Skradina i Općine Biskupija (Slika 2). Klasa jako visokog rizika obuhvaća obalni, priobalni pojas te otoke. NP Krka u potpunosti se nalazi na području ove dvije klase, prostor uz kanjon spada u kategoriju jako visokog rizika, a ostatak je visokog rizika.

Prema kriteriju udaljenosti od naselja, većina Šibensko-kninske županije (66 %) spada u zonu jako niskog rizika izbijanja požara (Slika 2.). Kategorije visokog i jako visokog rizika zajedno čine oko 12 % površine. Ove dvije kategorije površinski nisu značajno rasprostranjene, njihova koncentracija je oko većih gradova (Šibenik, Knin, Drniš), odnosno najgušće naseljenih prostora.

NP Krka gotovo cijelom svojom površinom spada u kategoriju jako niskog rizika. Analiza udaljenosti od cesta pokazala je da su najzastupljenije kategorije na području županije one jako visokog rizika (30 %), jako niskog rizika (20 %) te niskog rizika (19 %). Prostor NP Krka, s obzirom na gustoću prometnica ondje, spada najvećim dijelom u prostor jako visokog (40 %) i visokog rizika izbijanja požara (25 %). Najmanje je zastupljena kategorija jako niskog rizika.

Najraširenija klasa temperature je ona visokog rizika izbijanja požara i obuhvaća 41 % županije te većinu NP Krka (Slika 2). Sljedeća klasa po zastupljenosti, a obuhvaća južni, najatraktivniji dio NP Krka, je zona jako visokog rizika izbijanja požara s udjelom od 27 %. Slijede zone umjereno visokog rizika (19 %), umjerenog rizika (8 %), niskog rizika (5 %) i jako niskog rizika (2 %) od izbijanja požara. Kod distribucije klasa za padaline konstelacija je slična (Slika 2). Dominira zona visokog rizika (31 %), dok zone visokog i umjereno visokog rizika pokrivaju obje po 24 % teritorija. Zona umjerenog rizika obuhvaća 12 %, niskog rizika 6 %, te zona s najmanjom vjerojatnošću izbijanja požara 3 % prostora županije. NP Krka se nalazi u najopasnijim zonama, većinom u zoni visokog rizika, dok je prostor oko Skradina u zoni jako visokog rizika izbijanja požara.

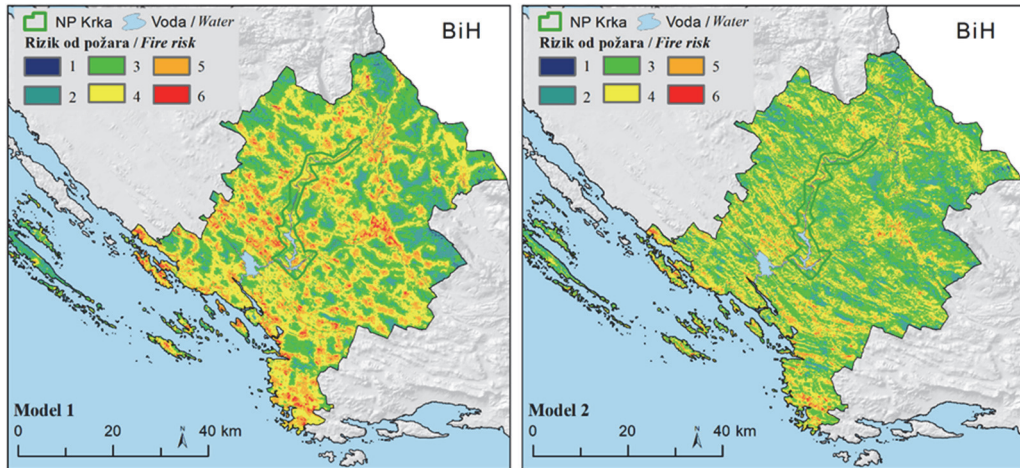
4.2 Modeli rizika izbijanja otvorenog požara

Prema prvom modelu vrednovanom prema iskustvu zapovjednika iz lokalne sredine, vegetacija odnosno tip gorivog materijala, smatra se primarnim kriterijem u izbijanju požara te joj je dodijeljen najveći rang i metodom AHP-a najveći težinski koeficijent (Kalabokidis i dr., 2002), (Setiawan i dr., 2004), (Arianoutsou i dr., 2011), (Netolicki i dr., 2012), (Kamran i dr., 2014), (Suryabhagavan i dr., 2016). Potom slijede antropogeni kriteriji (udaljenost od naselja i cesta), a razlog tome je pretpostavka da većina požara u Šibensko-kninskoj županiji nastaje kao posljedica utjecaja čovjeka (nepažnja, piromanija) (u.p. Milošević, 2017.). Od ostalih kriterija ističe se ekspozicija, jer direktno utječe na količinu vlage u tlu. Najmanji koeficijenti dodijeljeni su klimatskim elementima, temperaturi i količini padalina, jer su podaci za te parametre dostupni u lošoj prostornoj rezoluciji, što izaziva nekompatibilnost mjerila (Malczewski, 1999). Nagib kao parametar ima veći utjecaj pri širenju požara nego pri samom nastanku, dok nadmorska visina ima minimalan utjecaj.

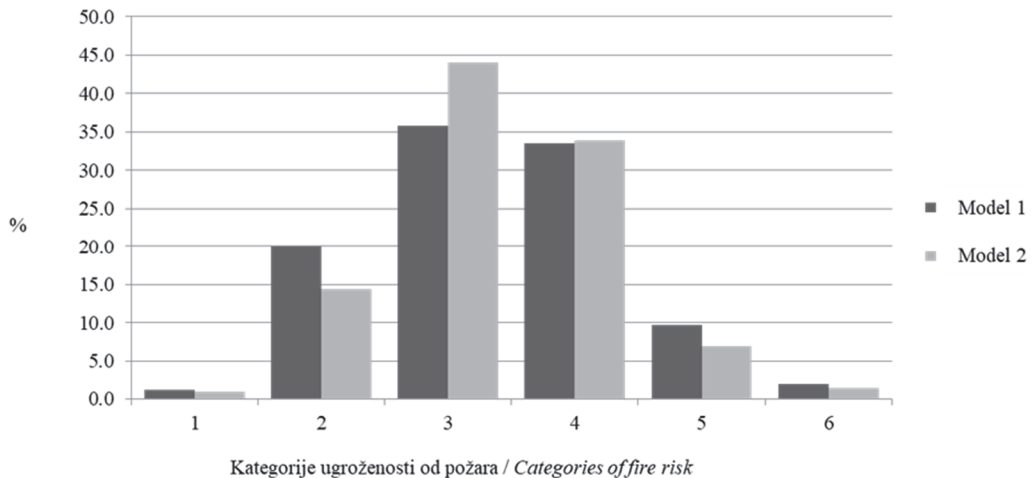
Najveći udio površine Šibensko-kninske županije (35,8 %) prema Modelu 1 spada u kategoriju umjerenog rizika izbijanja požara (Slika 3 i 4). Sljedeća klasa po zastupljenosti je umjereno visok rizika izbijanja požara (33,5 %). Visok i izrazito visok rizik obuhvaćaju 10,3 % površine, dok kategorije niskog i jako niskog rizika zajedno čine 20,4 % površine. Zone najvećeg rizika su uz grad Drniš, a posebno uz naselja Tepljuh, Miočić, Biočić i dr. Iduća najugroženija općina je Skradin. Kroz dijelove obje navedene općine proteže se NP Krka. Zone najvećeg rizika na prostoru Parka zastupljene su u minimalnoj mjeri, a najzastupljenija je zona umjerenog rizika izbijanja požara.

Prema drugom modelu vegetacija također ima najveći utjecaj pri nastanku požara, a nadmorska visina se nalazi među parametrima od najmanjeg utjecaja (Kant Sharma i dr., 2014). Međutim, u odnosu na prethodni scenarij antropogeni kriteriji su u ovom slučaju od marginalne važnosti pri

nastanku požara. Čovjek u ovome modelu nije promatran kao značajan faktor. Prema Modelu 2 klasa umjerenog rizika je isto kao i u prethodnoj analizi najraširenija na prostoru županije (44 %) (Slika 3 i 4). Potom slijedi klasa umjerenog visokog rizika izbijanja požara (35,8 %).



Slika 3. Modeli rizika izbijanja požara (1-jako nizak; 2-nizak; 3-umjeren, 4-umjerenog visok, 5-visok, 6-jako visok)



Slika 4. Usporedba rezultata višekriterijske analize 1 i 2

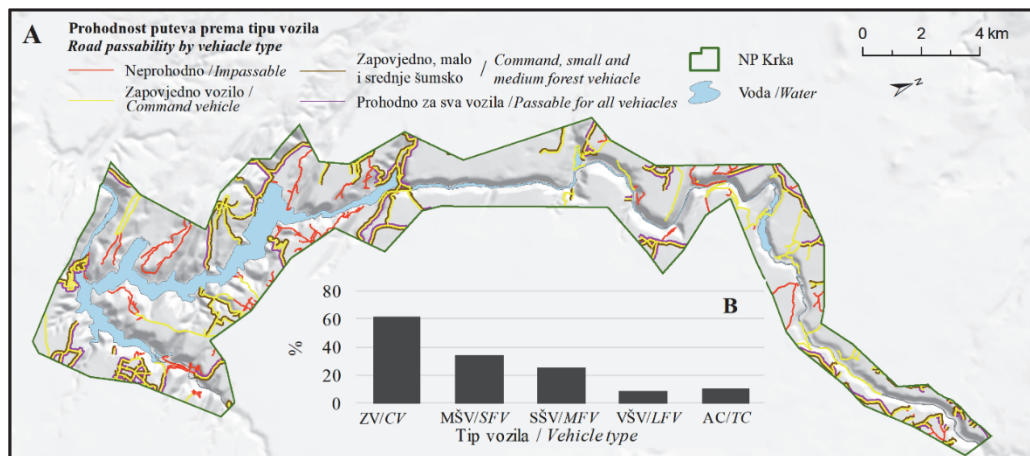
Oba modela ukazuju na to da su klase ekstremno visokog i ekstremno niskog rizika izbijanja požara zastupljene u najmanjoj mjeri. Klase visokog i jako visokog rizika izbijanja požara su zastupljene u manjoj mjeri nego u prethodnoj analizi te zajedno obuhvaćaju čak manje od 8% površine Županije. Klasa najveće ugroženosti obuhvaća prostor Drniša, Skradina, Šibenika i Tisnog. Na prostoru NP Krka najzastupljenija je klasa umjerenog rizika izbijanja požara, dok mjesta najveće ugroženosti zauzimaju površinu manju od 1% ukupne površine NP-a.

4.3 Procjena točnosti modela

Procjena točnosti izlaznih rezultata (Model 1 i Model 2) izvršena je s usporedbom lokacija dosadašnjih požarišta. Autori Držaić i dr. (2014) napravili su analizu gustoće požara unutar Šibensko-kninske županije za razdoblje od 2010. do 2013. godine gdje su zabilježili ukupno 1039 požara. Od toga, najviše ih je izbilo u zaleđu Vodica i Šibenika, okolici Knina i Žažvića. Kao ključni čimbenici istaknuli su veliku koncentraciju stanovništvu tijekom ljetne sezone, blizinu cesta i način iskorištavanja zemljišta (Držaić i dr., 2014). Modeli rizika izbijanja požara generirani u ovom istraživanju se poklapaju s rezultatima Držaić i dr. (2014). Izlazni rezultati oba modela, prostor oko gradova Knina, Šibenika, Dрниša i Skradina prikazuju ugroženijim u odnosu na okolni prostor. Prema Modelu 1 zone najveće gustoće požara se preklapaju s kategorijama izrazito visokog i visokog rizika te mjestimično umjerenog rizika, a najraširenija od navedenih je kategorija visokog rizika izbijanja požara. S druge strane u Modelu 2 su iste zone pokrivene kategorijama umjerenog, umjerenog visokog i visokog rizika, pri čemu je najraširenija kategorija umjerenog rizika izbijanja požara. Iz navedenog se zaključuje da je Model 1 točniji od Modela 2 te pokazuje veću ugroženost od požara unutar zona tradicionalno najveće gustoće požara.

4.4 Rezultati prohodnosti i pokrivenosti putova te vremena intervencije - NP Krka

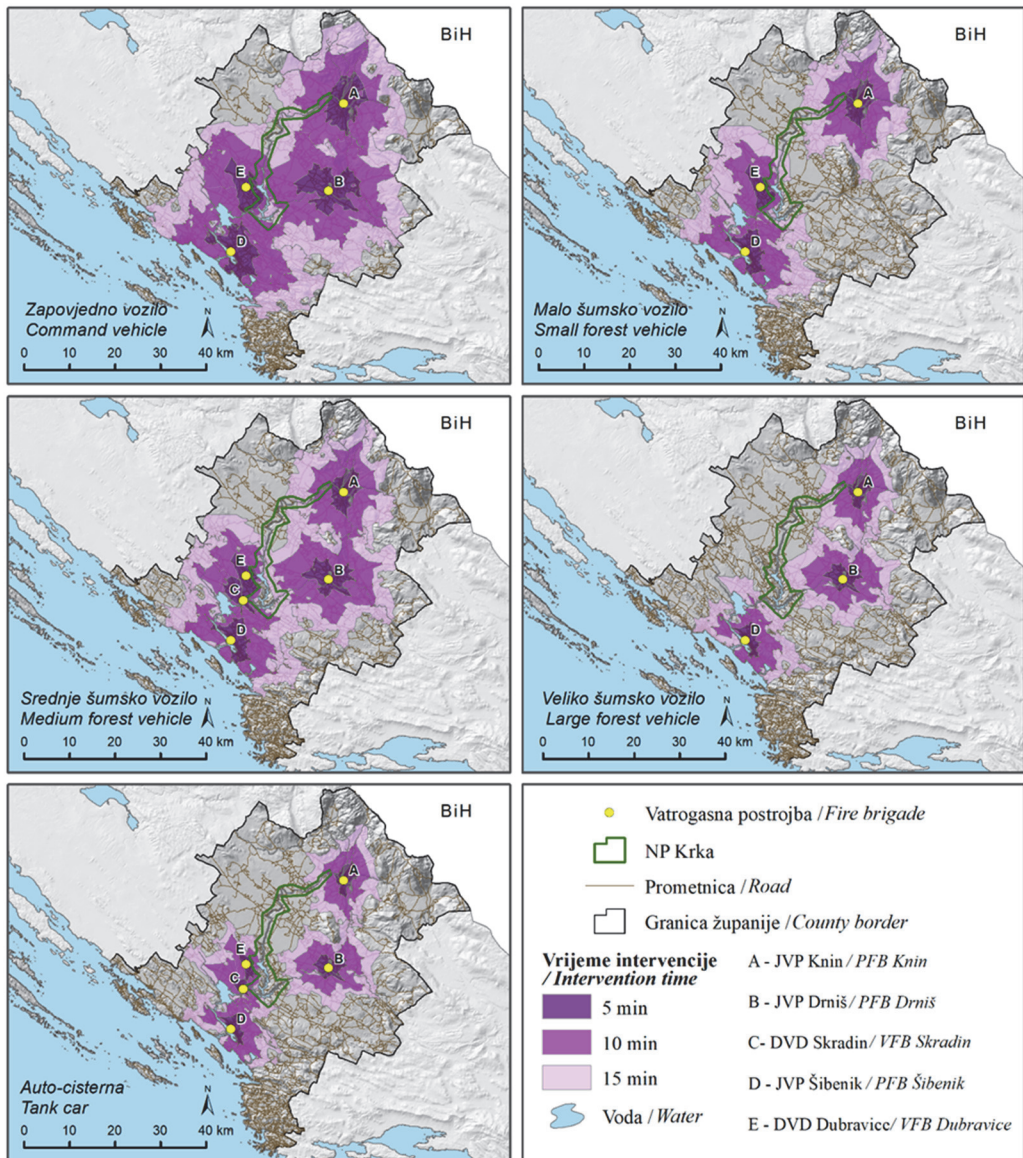
U NP Krka mreža puteva ima ukupnu duljinu od 197 km. Čak 30 % (59,39 km) putova unutar NP Krka nije prohodno niti za jedan tip vatrogasnog vozila (Slika 5).



Slika 5. Prohodnost puteva u NP (A); Pokrivenost puteva u NP po tipovima vozila unutar 15 minuta (B)

Pokrivenost unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju direktno je vezana upravo za maksimalnu brzinu vozila (u.p. Milošević, 2017) zbog čega je pokrivenost postojećih puteva unutar 15 minuta znatno veća za zapovjedno vozilo u odnosu na ostala vozila (Slika 5B). Zapovjedno vozilo pokriva 62,2 % (122,60 km) svih puteva u zadanom vremenu. Malo šumsko vozilo unutar 15 minuta pokriva 34,35 % (67,74 km), a srednje šumsko vozilo 25,60 % (50,44

km) svih puteva u NP. Najmanje puteva pokriveno je velikim šumskim vozilom, koje pokriva 8,31 % (16,37 km) postojećih puteva te auto-cisternom 10,28 % (20,26 km). Iako je veliko šumsko vozilo znatno brže od auto-cisterne, njega ne posjeduju dvije postrojbe koje su najbliže NP (DVD Dubravice i DVD Skradin). Zbog toga je pokrivenost puteva u NP velikim šumskim vozilom iz udaljenijih postrojbi manja, nego što je kod sporije auto-cisterne koju posjeduju sve analizirane postrojbe.

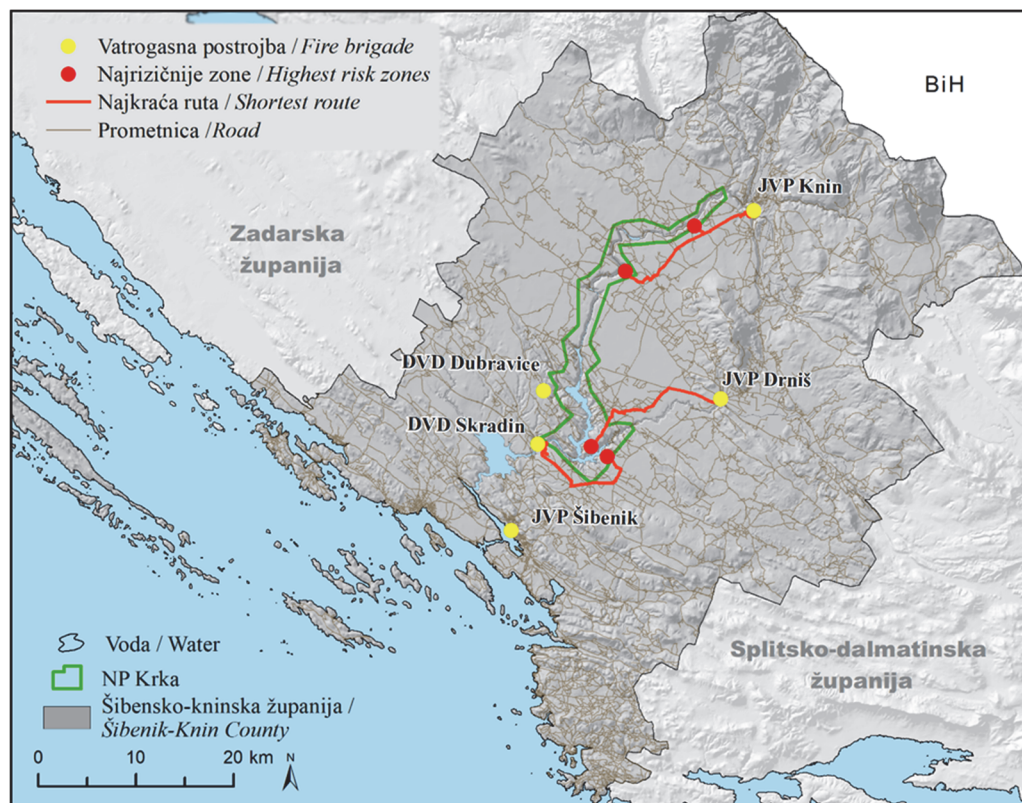


Slika 6. Standardna vremena potrebna za intervenciju

U ukupnoj pokrivenosti putova NP Krka unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju najveću pokrivenost (> 50 %) generiraju DVD Dubravice i DVD Skradin, što je i logično ako se u obzir uzme da se ove dvije postrojbe nalaze u neposrednoj blizini ulaza u park (DVD Dubravice na 1,25 km od ulaza, a DVD Skradin na 0,707 km od ulaza) (Slika 6). Međutim, treba istaknuti slabiju opremljenost ovih postrojbi, kao ograničavajući čimbenik njihove funkcionalnosti i operativnosti. Naime, DVD Dubravice ne posjeduje veliko šumsko vozilo, a DVD Skradin ne posjeduje zapovjedno vozilo, malo šumsko vozilo te veliko šumsko vozilo. Zbog toga ova vozila moraju dolaziti na intervencije iz znatno udaljenijih postrojbi (JVP Šibenik, JVP Knin, JVP Drniš). JVP Šibenik (9 km od ulaza u NP) je uz JVP Drniš (9,51 km od ulaza u NP) najudaljenija postrojba te unatoč dobroj opremljenosti ove postrojbe bilježe slabiju pokrivenost NP.

4.4.1 Odabir postrojbi i optimalnih ruta do zona najvećeg rizika izbijanja požara

Izdvojene su zone najvećeg rizika izbijanja požara dobivene GIS-MCDA, te su pretpostavljene kao mjesta pojave požara. Na prostoru Parka generirana su četiri rizična kruga prosječne površine 700 m². Dvije su zone raspoređene u sjevernom, a dvije u južnom dijelu NP (Slika 7).



Slika 7. Odabir postrojbi i optimalnih ruta do požarima najugroženijih područja

Od nadležnih postrojbi za NP Krka (do izdvojenih rizičnih zona) kao najbliže izdvojene su JVP Knin, DVD Skradin i JVP Drniš. JVP Knin pri tome pokriva rizične zone u sjevernom dijelu, a JVP Drniš i DVD Skradin u južnom djelu NP. Sve četiri zone pokrivena su unutar 15 minuta, odnosno unutar vremena potrebnog za intervenciju.

5 ZAKLJUČAK

U radu su prikazane mogućnosti implementacije GIS-a u vatrogasni sustav. Prema generiranim modelima prostor Šibensko-kninske županije može se svrstati u kategoriju umjereno/umjereno visokog rizika izbijanja požara. Podudarnost modela u površini najzastupljenijih kategorija iznosi više od 85 %, što potvrđuje opravdanost korištenja metodološkog pristupa donosioca odluka u GIS-MCDA. Usporedbom rezultata s dostupnim podacima o gustoći požara na prostoru Šibensko-kninske županije u razdoblju od 2003. do 2013. godine Model 1 se pokazao točnijim od Modela 2. To ukazuje na važnost modificiranja parametara sukladno lokalnim značajkama prostora i konzultiranja s iskusnim lokalnim vatrogasnim djelatnicima.

Iz dobivenih rezultata pokrivenosti putova nameće se pitanje opremljenosti zaduženih vatrogasnih postrojbi. Općenito, sredstva za potrebe vatrogastva u RH, posebice u jadranskom dijelu, su nedostatna, dok se istovremeno broj požara povećava. Takav je slučaj i s vatrogasnim postrojbama analiziranim u ovome radu. JVP Šibenik je nedvojbeno najopremljenija postrojba u usporedbi s ostalima zaduženim u Šibensko-kninskoj županiji, dok sve ostale postrojbe imaju tek po jedno vozilo adekvatno za šumske požare ili ga pak uopće nemaju. Dakle, ako je više istovremenih požara na prostoru županije (što je čest slučaj za ljetnih mjeseci), njihova opremljenost definitivno nije zadovoljavajuća.

Uz gore navedene rezultate valja istaknuti i kako na području NP Krka čak 30 % puteva nije prohodno ni za jedan tip vatrogasnih vozila. Razlog tome je zakonska regulativa u RH koja teži očuvanju izvornih vrijednosti bez antropogenih utjecaja na okoliš. Ipak, posljedice neodržavanja puteva mogu imati značajnije negativne učinke od određenih antropogenih. Jednom izgorenoj šumi potreban je dugi niz godina da se regenerira, a očuvanje prirodnih vrijednosti trebao bi ipak biti prioritet.

LITERATURA I IZVORI

Abudeif, A. M., Moneim, A. A., Farrag, A. F. (2015). Multicriteria decision analysis based on analytic hierarchy process in GIS environment for siting nuclear power plant in Egypt. *Annals of nuclear energy*, 75, 682-692. doi: 10.1016/j.anucene.2014.09.024

Ager, A. A., Finney, M. A., Kerns, B. K., Maffei, H. (2007). Modeling wildfire risk to northern spotted owl (*Strix occidentalis caurina*) habitat in Central Oregon, USA. *Forest Ecology and Management*, 246(1), 45-56. doi: 10.1016/j.foreco.2007.03.070

Althuwaynee, O. F., Pradhan, B. (2017). Semi-quantitative landslide risk assessment using GIS-based exposure analysis in Kuala Lumpur City. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 706-732. doi: 10.1080/19475705.2016.1255670

Arianoutsou M., Koukoulas S., Kazanis D. (2011). Evaluating Post-Fire Forest Resilience Using GIS and Multi-Criteria Analysis: An Example from Cape Sounion National Park, Greece, *Environmental management*, 47(3), 384-397. doi: 10.1007/s00267-011-9614-7

Bakšić, N., Vučetić, M., Španjol, Ž. (2015). Potencijalna opasnost od požara otvorenog prostora u Republici Hrvatskoj. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 2, 30-40.

Bashfield, A., Keim, A. (2011). Continent-wide DEM creation for the European Union. U: *34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, The GEOSS Era: Towards Operational Environmental Monitoring*. Sydney, Australija.

Bui, D. T., Bui, Q. T., Nguyen, Q. P., Pradhan, B., Nampak, H., Trinh, P. T. (2017). A hybrid artificial intelligence approach using GIS-based neural-fuzzy inference system and particle swarm optimization for forest fire susceptibility modeling at a tropical area. *Agricultural and forest meteorology*, 233, 32-44. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.11.002

Catry, F. X., Rego, F. C., Bação, F. L., Moreira, F. (2010). Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 18(8), 921-931.

Chuvieco, E., Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(3), 333-345.

Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B. Dragičević, N. (2013). Pregled primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi. *Građevinar*, 65(7), 619-631.

DGU (n.d.). *WMS server Državne geodetske uprave Republike Hrvatske: DOF 1:5000, Topografska karta RH 1:25000*, geoportal.dgu.hr/wms (pristupljeno 25.11.2017.)

DGU RH (2009). Središnji registar prostornih jedinica - SRPJ i Digitalni atlas Republike Hrvatske – DARH (preuzeti podaci za *centroide naselja, granice, more*).

Dimopoulou, M., Giannikos, I. (2004). Towards an integrated framework for forest fire control. *European Journal of Operational Research*, 152(2), 476-486. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00038-9.

DIVA GIS (n.d.). *Klimatski podaci (temp. i padaline) u rezoluciji od 2,5 lučnih minuta*, <http://www.diva-gis.org/climate> (pristupljeno 28. 11. 2017.)

Držaić, D., Kavran, M., Antolović, A. (2014). Determination of Appropriate Locations for Seasonal Dislocation of Fire Stations in the Šibenik-Knin County Based on Road Network Analysis. *Kartografija i geoinformacije (Cartography and Geoinformation)*, 13(22), 20-31.

Duan, J. i Grant, G. E. (2000). Shallow landslide delineation for steep forest watersheds based on topographic attributes and probability analysis. U J. P. Wilson, J. C. Gallant (ur.), *Terrain Analysis: Principles and Application* (pp. 311-330). New York: John Wiley & Sons Press.

EOxClient (n.d.). *Internet poslužitelj za preuzimanje EU-DEM-a*, <https://data.eox.at/eudem/> (pristupljeno 15.10.2017.).

Geofabrik (n.d.). *Internet poslužitelj za preuzimanje OSM podataka*, <http://www.geofabrik.de/> (pristupljeno 20.11.2017.).

Gigović, L., Pamučar, D., Lukić, D., Marković, S. (2016). GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model for the evaluation of the sites for ecotourism development: A case study of "Dunavski ključ" region, Serbia, *Land Use Policy*, 58, 348-365. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.07.030

Greco, S., Figueira, J., Ehrgott, M. (2016). *Multiple criteria decision analysis*. Springer's International series, (37). <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-3094-4>

Hajkowicz, S., Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management*, 21(9), 1553-1566.

Jurjević, P., Vuletić, D., Gračan, J., Seletković, G. (2009). Šumski požari u Republici Hrvatskoj (1992-2007). *Šumarski list*, 133(1-2), 63-72.

Kalabokidis, K. D., Konstantinidis, P., Vasilakos, C. (2002). GIS analysis of physical and human impact on wildfire patterns. U D. X. Viegas (ur.), *Proceedings of the IV International conference on forest fire research & wildland fire safety* (13 pp.). Rotterdam: Millpress.

Kamran K.V., Omrani K., Khosroshahi S.S. (2014). Forest Fire Risk Assessment Using Multi-Criteria Analysis: A Case Study Kaleybar Forest, U: *International Conference on Agriculture, Environment and Biological Sciences*, (pp. 30-33). Antalya.

Kant Sharma, L., Kanga S., Nathawat, M.S., Sinha, S., Pandey, P.C. (2014). Fuzzy AHP for forest fire risk modeling. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 22(2), 160-171. doi: 10.1108/09653561211219964

Littell, J. S., Peterson, D. L., Riley, K. L., Liu, Y., Luce, C. H. (2016). A review of the relationships between drought and forest fire in the United States. *Global change biology*, 22(7), 2353-2369. doi: 10.1111/gcb.13275

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (2005). *Geographic information systems and science*, John Wiley & Sons. pp. 517.

Magaš, D. (2013). *Geografija Hrvatske*, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Zadar, pp. 597.

Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons., pp. 392.

Mendas, A. i Delali, A. (2012). Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. *Computers and Electronics in Agriculture*, 83, 117-126., doi: 10.1016/j.compag.2012.02.003

Milošević, V. (2017). Usmeno priopćenje, zapovjednik JVP Šibenik, 20. studeni 2017. godine.

Moritz, M. A., Parisien, M. A., Batllori, E., Krawchuk, M. A., Van Dorn, J., Ganz, D. J., Hayhoe, K. (2012). Climate change and disruptions to global fire activity. *Ecosphere*, 3(6), 1-22.

Narodne novine (2018). Zakon o zaštiti prirode, Zagreb, 22. veljače, 2018. (NN 80/13, 15/18).

Netolicki A., Blažević T., Antolović A. (2012). Višekriterijska analiza rizika od požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Državna uprava za zaštitu i spašavanje, Zagreb. *Kartografija i geoinformacije*, 11(17), 5-24.

Paralikas, A. N., Lygeros, A. I. (2005). A multi-criteria and fuzzy logic based methodology for the relative ranking of the fire hazard of chemical substances and installations. *Process Safety and Environmental Protection*, 83(2), 122-134. doi: 10.1205/psep.04236

Patah, N. A., Mansor, S., Mispan, M. R. (2001). An application of remote sensing and geographic information system for forest fire risk mapping. *Malaysian Centre for Remote Sensing (MACRES)*, 29(2), 54-67. doi: 10.1016/0034-4257(89)90023-0

Podur, J., Martell, D. L., Csillag, F. (2003). Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976–1998. *Ecological Modelling*, 164(1), 1-20. doi:10.1016/S0304-3800(02)00386-1

Psilovikos, T., Doukas, K., Drosos, V. K. (2011). The contribution of forest roads to the forest fire protection. U: *Proceedings of the 44th International Symposium on Forestry Mechanisation* (13 pp.). Graz, Austria.

Razvojna Agencija Š-K županije (2011). Razvojna strategija Šibensko-kninske županije, Šibenik

Roland, V., Marić, I., Milošević, R. (2015). Primjena GIS tehnologije u vatrogastvu. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 5(1), 57-71.

Rosavec, R., Šikić, Z., Barčić, D. (2013). Potencijalno šumsko gorivo u eumediteranskom području. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 3(2), 14-24.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision? The analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.

Setiawan, I., Mahmud, A. R., Mansor, S., Mohamed Shariff, A. R., Nuruddin, A. A. (2004). GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 13(5), 379-386. doi:10.1108/09653560410568507

Stipaničev, D., Vuko, T., Bodrožić, L. (2007). Location determination of automatic forest fire monitoring stations based on AHP and GIS data. U: *TIEMS (The International Emergency Management Society)*, 2007 Int. Conference.

Suryabhadgavan, K.V., Misrak A., Balakrishnan, M. (2016). GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire susceptibility mapping: a case study in Harena forest, southwestern Ethiopia. *Tropical Ecology*, 57(1), 33-43.

Szabo, N.(2001). *Vatrogasna taktika*. Zagreb: Visoka škola za sigurnost na radu.

Šibensko-kninska županija (n.d.). Zaključak o prihvaćanju „Izvješća o stanju zaštite od požara na području Šibensko-kninske županije u 2018. godini“, https://www.sibensko-kninska-zupanija.hr/upload/zupanijska_skupstina/2019/11_sjednica/7.Tocka_dopuna.pdf.

Šiljeg, A.; Barada, M., Marić, I. (2018). *Digitalno modeliranje reljefa*, sveučilišni priručnik, Sveučilište u Zadru, Alfa d.d., Zagreb, pp. 266.

Šiljković, Ž. (1997). Požari kao oblik destrukcije geografske sredine. *Geoadria*, 2(1). doi: 10.15291/geoadria.245.

Taylor S. W., Alexander M. E. (2006). Science, technology, and human factors in fire danger rating: the Canadian experience. *International Journal of Wildland Fire* 15, 121-135. doi: 10.1071/WF05021.

Tomlinson, R. F. (2007). *Thinking about GIS: geographic information system planning for managers*, 1st Ed., ESRI, Inc., pp. 380.

USGS Earth Explorer (n.d.). *Sentinel 2 satelitski snimak*, <https://earthexplorer.usgs.gov> (pristupljeno 25.11.2017.)

Vadrevu K.P., Eaturu A., Badarinath K. V. S. (2009). Fire risk evaluation using multicriteria analysis—a case study. *Environ. Monit. Assess.* 166, 223–239. doi:10.1007/s10661-009-0997-3

Varela, J., Arias, J. E., Sordo, I., Tarela, A. (2003). Multicriteria decision analysis for forest fire risk assessment in Galicia, Spain. *4th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to forest fire management: Innovative concepts and methods in fire danger estimation*, 5-7/6/2003. Ghent University, Belgium.

Varga, M., Bašić, T. (2013). Procjena kvalitete i usporedba globalnih digitalnih modela reljefa na zemlju Republike Hrvatske. *Kartografija i geoinformacije*, 12(20), 4-17.

Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., Matsinos, I. (2009). Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural hazards*, 50(1), 125-143. doi:10.1007/s11069-008-9326-3

Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., Kallos, G., Matsinos, Y. (2007). Integrating new methods and tools in fire danger rating. *International Journal of Wildland Fire*, 16(3), 306-316.

Viegas, D. X., Bovio, G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B. (1999). Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*, 9, 235-246

Autori:

Izv. prof. dr. sc. Ante Šiljeg

Sveučilište u Zadru - Odjel za geografiju

Trg kneza Višeslava 9, 23 000 Zadar

Republika Hrvatska

E-mail: asiljeg@unizd.hr

Rina Milošević, mag. geogr.

Sveučilište u Zadru - Ured za znanost i transfer tehnologija

Trg kneza Višeslava 9, 23 000 Zadar

Republika Hrvatska

E-mail: rmilosevi@unizd.hr

Doc. dr. sc. Ivan Marić, poslijedoktorand

Sveučilište u Zadru - Odjel za geografiju

Trg kneza Višeslava 9, 23 000 Zadar

Republika Hrvatska

E-mail: imaric1@unizd.hr