

# Optimizacija i upravljanje vatrogasnim intervencijama - GIS pristup

---

Milošević, Rina

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:884604>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Jednopedmetni diplomski sveučilišni studij Primjenjene geografije

**Rina Milošević**

**Optimizacija i upravljanje vatrogasnim  
intervencijama – GIS pristup**

**Diplomski rad**

Zadar, 2018

Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju  
Jednopedmetni sveučilišni studij Primjenjene geografije

Optimizacija i upravljanje vatrogasnim intervencijama – GIS pristup

Diplomski rad

Student/ica:

Rina Milošević

Mentor/ica:

Doc. dr. sc. Ante Šiljeg

Zadar, 2018.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Rina Milošević**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Optimizacija i upravljanje vatrogasnim intervencijama – GIS pristup** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 2018

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zadru  
Odjel za geografiju

Diplomski rad

### OPTIMIZACIJA I UPRAVLJANJE VATROGASNIM INTERVENCIJAMA – GIS PRISTUP Rina Milošević

U radu se prikazuju mogućnosti implementacije GIS-a u vatrogasni sustav od osnovnih mogućnosti organizacije baze podataka pa do kompleksnijih višekriterijskih analiza. Kao osnova rada korištena je AHP metoda višekriterijske analize (GIS-MCDA) kako bi se odredile zone najveće ugroženosti od požara na području Šibensko-kninske županije odnosno NP Krka. Osnovni korišteni parametri su nagib, ekspozicija, nadmorska visina, vegetacija, udaljenost od naselja i udaljenost od cesta. Generirana su dva modela s različitim vrednovanjem parametara na temelju (1) iskustva vatrogasnog zapovjednika nadležnog za istraživano područje i (2) primjera dobre prakse iz stručne i znanstvene literature. Dobiveni modeli sastoje se od pet kategorija rizika od izbijanja požara (1-vrlo nizak, 5-vrlo visok). Također uz pomoć *Network Analysta* analizirana je pokrivenost NP Krka unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju iz vatrogasnih postrojbi nadležnih za navedeno područje. Osim navedenog, napravljena je analiza prohodnosti puteva na području parka s obzirom na vrstu vatrogasnog vozila te su izdvojene najbliže vatrogasne postrojbe i najkraće rute do zona najveće ugroze od požara.

**Ključne riječi:** Vatrogasne intervencije, požari, Višekriterijska GIS analiza (GIS-MCDA), *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, *Network Analyst*

**Voditelj:** doc. dr. sc. Ante Šiljeg

**Povjerenstvo:** doc. dr. sc. Ante Šiljeg, prof. dr. sc. Josip Faričić, doc. dr. sc. Nina Lončar

## BASIC DOCUMENTATION CARD

**University of Zadar**  
Department of Geography

Graduation Thesis

### OPTIMIZATION AND MANAGEMENT OF FIREFIGHTING INTERVENTIONS - GIS APPROACH

Rina Milošević

This paper presents the possibilities of implementing GIS in the firefighting system, from basic database organization capabilities to the more complex multi-criteria analyzes. The most vulnerable zones by fire were determined using the GIS multi-criteria decision analysis (GIS-MCDA) and *Analytical Hierarchy Process* (AHP). The process was performed using 6 criteria: slope, exposure, altitude, vegetation, distance from the settlement, and road distance. Two wildfire risk models were derived with different parameter evaluations based on (1) the experience of the fire commander in charge of the research area and (2) examples of good practice from the professional and scientific literature. The created models have been classified into five classes (from very low (1) to very high (5) which represents the level of susceptibility to wildfire. Additionally, using the *Network Analyst* extension, 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.

**Keywords:** Firefighters interventions, wild-fires, Multicriteria GIS analysis (GIS-MCDA), *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Network Analyst*

**Supervisor:** Ante Šiljeg, PhD, Assist. Prof.

**Reviewers:** Assist. Prof. Ante Šiljeg, PhD, Prof., Josip Faričić, PhD and Assist. Prof, Nina Lončar PhD.

## Sadržaj

<b>1. UVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJEKT, CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>10</b>
<b>3. PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>11</b>
<b>4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>14</b>
<b>5. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>17</b>
<b>6. MODELIRANJE U GIS-u - TEORIJSKA OSNOVA.....</b>	<b>19</b>
6.1. Komponente GIS-a .....	21
6.2. Vrste podataka u GIS-u .....	22
6.3. Baza podataka.....	24
6.4. Primjeri metoda prikupljanja podataka.....	25
6.4.1. Satelitska detekcija .....	25
6.4.1.1. Sentinel 2.....	25
6.4.1.2. Normalizirani vegetacijski indeks (NDVI) .....	26
6.4.2. Digitalni model reljefa .....	28
6.5. Analize u GIS-u .....	28
<b>7. PRIMJENA GISA U VATROGASTVU.....</b>	<b>29</b>
7.1. Optimizacija.....	30
7.2. Gis organizacija podataka .....	30
7.3. Primjena GIS-a u odabiru nove lokacije tornjeva na otkrivanje požara - analize vidljivosti .....	<a href="#">30</a>
7.4. Digitalna analiza reljefa za potrebe vatrogastva .....	32
7.5. Korištenje Network Analysta za vatrogasne analize.....	33
7.5.1. Definiranje optimalnih ruta kretanja vatrogasnih vozila – New Route.....	35
7.5.2. Određivanje najbliže lokacije od zadane točke - Closest Facility.....	35
7.5.3. Definiranje područja djelovanja vatrogasne postaje – Service area.....	35
7.5.4. Određivanje optimalne lokacije vatrogasne postrojbe - Location-allocation.....	36

7.6.	Višekriterijske analize kao podrška u donošenju odluka .....	38
7.6.1.	Postupak provođenja višekriterijskih analiza u GIS-u .....	39
7.6.1.1.	Metode standarizacije kriterija: Fuzzy Membership i Fuzzy Overlay .....	39
7.6.1.2.	Određivanje težine svakog faktora .....	39
7.6.1.3.	Grupiranje kriterija .....	41
<b>8.</b>	<b>VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA ZA POTREBE VATROGASTVA NA PRIMJERU ŠIBENSKO-KNINSKE ŽUPANIJE.....</b>	<b>42</b>
8.1.	Parametri višekriterijske analize za modeliranje rizika od izbijanja požara.....	43
8.1.1.	Vegetacija.....	43
8.1.2.	Nagib .....	45
8.1.3.	Ekspozicija .....	47
8.1.4.	Nadmorska visina .....	49
8.1.5.	Udaljenost od naselja i cesta .....	51
8.2.	Rezultati višekriterijske analize .....	54
8.2.1.	Model 1 .....	56
8.2.2.	Model 2 .....	57
8.3.	Provjera modela .....	58
<b>9.</b>	<b>UPRAVLJANJE VATROGASNIM INTERVENCIJAMA .....</b>	<b>60</b>
9.1.	Preventivna faza vatrogasnih intervencija.....	61
9.1.1.	Prohodnost puteva na području NP Krka za potrebe vatrogasnih vozila.....	61
9.1.2.	Standardno vrijeme potrebno za intervenciju – NP Krka.....	63
9.1.3.	Standardno vrijeme intervencije - Šibensko-kninska županija .....	70
9.1.4.	Odabir najbliže postrojbe i ruta do požarima najugroženijih zona .....	71
<b>10.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>73</b>
<b>11.</b>	<b>POPIS GRAFIČKIH PRILOGA.....</b>	<b>75</b>
11.1.	Popis slika.....	75
11.2.	Popis tablica.....	76



<b>12. POPIS AKRONIMA.....</b>	<b>77</b>
<b>13. LITERATURA.....</b>	<b>78</b>
<b>14. IZVORI.....</b>	<b>80</b>

## 1. UVOD

Požari otvorenog prostora na godišnjoj razini uništavaju velike šumske površine i mogu imati katastrofalne posljedice na okoliš. U Hrvatskoj je ovaj tip prirodne prijetnje učestala pojava, posebno u priobalnim prostorima gdje se pretežito javlja u sušnim ljetnim mjesecima (Držaić, Kavran, 2014.). Takvi požari predstavljaju ekološku katastrofu, a obnova šuma nakon toga traje desetljećima. Ovaj rad bavi se problematikom optimizacije i upravljanja vatrogasnim intervencijama. Optimizacija podrazumijeva odabir najpogodnijih elemenata za ostvarivanje određenog cilja iz skupa ponuđenih elemenata. Kako bi se vatrogasne intervencije mogle optimizirati u GIS-u, potrebno je prethodno poznavanje vatrogasne terminologije i temeljnih pravila upravljanja intervencijama.

Po definiciji vatrogasna djelatnost je stručna i humanitarna djelatnost koja se bavi preventivnim mjerama zaštite od požara i eksplozija, gašenjem požara, spašavanjem ljudi i imovine, pružanjem tehničke pomoći u nezgodama i opasnim situacijama te obavljanjem drugih poslova u nesrećama. Obavljaju je vatrogasne postrojbe, dobrovoljna vatrogasna društva i vatrogasne zajednice (URL 18). Požari se razlikuju po vrsti, načinu postanka i štetama. Za nastanak požara potrebna je određena temperatura, goriva masa i kisik, a ako se jedno od toga ukloni, požar prestaje (Netolicki, 2012.). Neovisno o tipu požara, cilj vatrogastva je minimizirati moguću štetu nastalu kao posljedica požara, uz minimalne moguće troškove. Zbog toga je važno provesti adekvatne protupožarne mjere, a da bi to postigli imperativ je detaljno poznavanje područja na kojem se planira zaštita. U tom pogledu do izražaja dolazi GIS koji upravlja prostornim podatcima, analizira ih te pretvara u korisne informacije.

Kada govorimo o GIS-u važno je napomenuti da je primjenjiv u gotovo svim granama ljudskog djelovanja i znanosti za sagledavanje prirodnih i društvenih pojava (Šimić, Grizelj 2014). Primjenjuje se u različitim područjima kao što su ekonomija, šumarstvo, geologija, biologija, vojska, hitna pomoć itd. Iako se ova područja u svojoj srži po mnogočemu razlikuju, povezuje ih prostorna komponenta koja je ključna za korištenje GIS-a. Uz definiranu lokaciju moguće je vezati neograničeni broj opisnih podataka (atributa), analizirati ih i prikazati u GIS-u. Dakle GIS je napredan informacijski sustav sa sposobnošću prikupljanja, pohranjivanja, analize i vizualizacije prostornih podataka, a s obzirom na to da je lokacija sastavni dio svih vatrogasnih intervencija idealan je alat za optimizaciju istih. Iako vatrogasna djelatnost ima dugogodišnje iskustvo rada u navedenim situacijama, njihova učinkovitost bi se mogla povećati korištenjem GIS-a. Upravo iz te hipoteze proizlazi ideja ovog rada, a to je prikazati mogućnosti implementacije GIS-a u vatrogasni sustav.

## 2. OBJEKT, CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Objekt istraživanja ovog rada su vatrogasne intervencije na požare otvorenog prostora, a osnovni cilj rada je izrada modela optimizacije vatrogasnih intervencija na požare otvorenih prostora. Optimizacija podrazumijeva uređivanje sustava da funkcionira na najbolji mogući način u postojećim uvjetima. Vatrogasne intervencije sastoje se od preventivne i operativne faze, a kako je preventivna razina od presudne važnosti za sprječavanje nastanka požara, veći naglasak u radu je na preventivnoj fazi. Sekundarni cilj rada je objasniti način funkcioniranja i mogućnosti GIS-a kao programa te prikazati načine njegova implementiranja u vatrogasni sustav.

U sklopu preventivne faze metodom višekriterijske analize odredile su se zone najvećeg rizika od požara na prostoru Šibensko-kninske županije s posebnim naglaskom na područje NP Krka. Zatim su definirane zone nadležnosti operativnih vatrogasnih postrojbi na prostoru NP te su odabrane postrojbe koje bi izašle na pojedinu intervenciju prema zadanim kriterijima (blizina, opremljenost). U preventivnoj fazi također je definiran dohvat vatrogasnih postrojbi s obzirom na standardizirano vrijeme potrebno za intervenciju. Kako na prostoru NP nisu svi putevi pogodni za kretanje svih korištenih tipova vozila napravljena je klasifikacija staza prema prohodnosti.

Sve ove stavke priprema su za sljedeću, operativnu fazu koja se odnosi na gašenje nastalog požara. Kada govorimo o operativnoj fazi ona se odnosi na koordiniranje opreme i ljudstva prilikom gašenja požara. U tom pogledu je uz pomoć *Network Analysta* određena najkraća ruta (*shortest path*) od pojedine vatrogasne postrojbe do opožarenog područja.

Postavljeni ciljevi povlače i određene hipoteze važne za ishod rada, a to su:

H1 - Dostupnost vatrogasnih postrojbi (unutar standardnog vremena za intervenciju) nije zadovoljavajuća na prostoru nacionalnog parka.

H2 - Opremljenost vatrogasnih postrojbi (po pitanju vozila za šumske požare) zaduženih za NP Krka nije zadovoljavajuća.

H3 - Područje NP Krka spada u kategoriju visokog rizika od požara

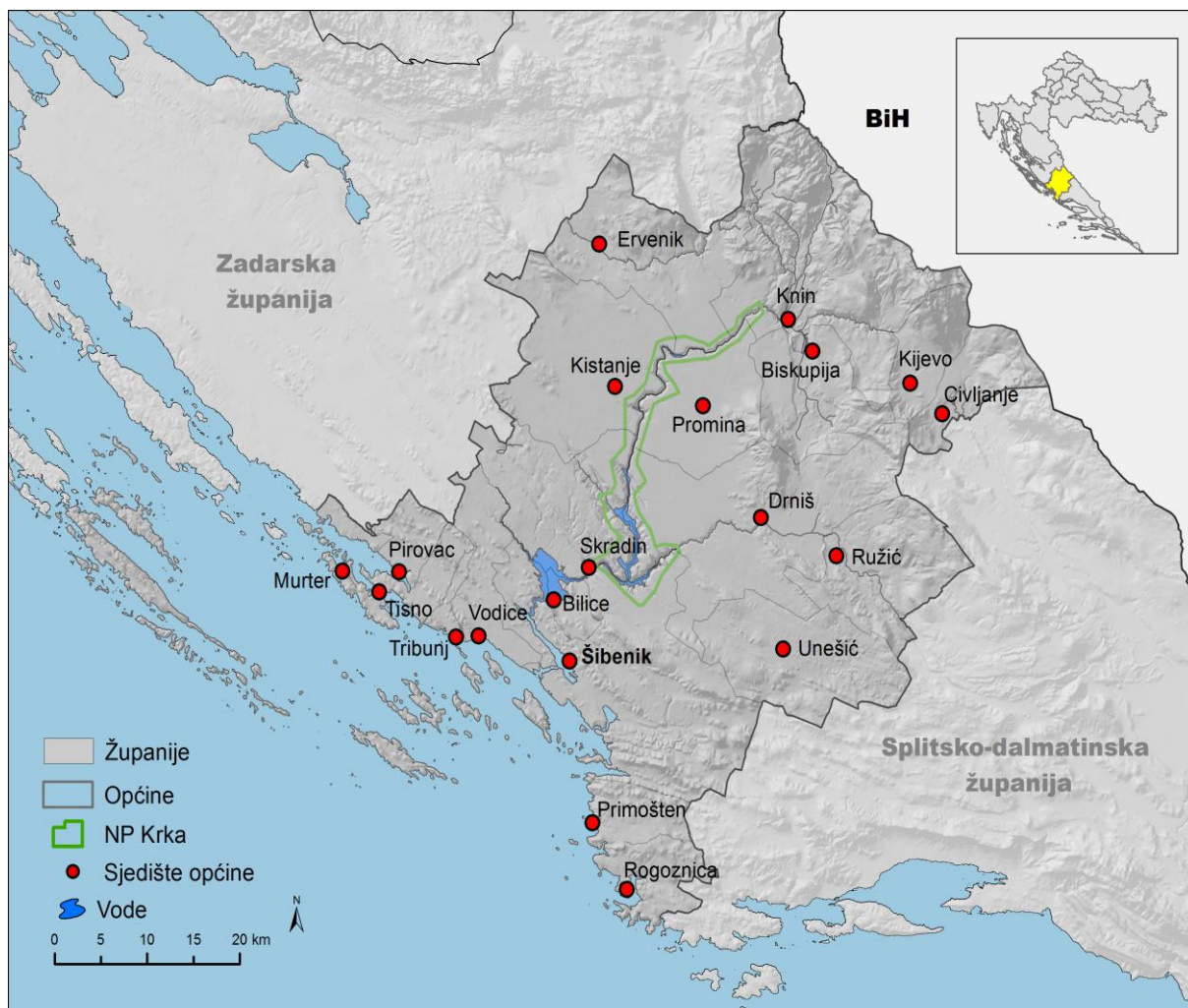
H4 - Na prostoru NP Krka 50% staza nije pogodno za kretanje svih tipova vatrogasnih vozila

### 3. PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANJA

Kao prostor istraživanja odabrana je Šibensko-kninska županija jer spada u požarima najugroženije županije u RH. Uzrok tome su klimatski uvjeti u ljetnim mjesecima, konfiguracija terena i vegetacijska obilježja ovog prostora, no također ništa manje važan faktor nije ljudski nemar.

Šibensko-kninska županija smještena je na jugu Republike Hrvatske, u središnjem dijelu sjeverne Dalmacije. Sjeverna granica joj je sa Zadarskom županijom, južna sa Splitsko-dalmatinskom, na istoku graniči s Bosnom i Hercegovinom, a na zapadu tvori dio jadranske morske granice s Italijom (Slika 1). Sastoji se od pet gradova (Šibenik, Knin, Drniš, Skradin i Vodice) i 15 općina. Grad Šibenik je administrativni, politički, gospodarski i društveno - kulturni centar županije (Alfa Atest, 2015). Kao prostor istraživanja odabrana je Šibensko-kninska županija jer spada u požarima najugroženije županije u RH. Uzrok tome su klimatski uvjeti u ljetnim mjesecima, konfiguracija terena i vegetacijska obilježja ovog prostora, no također ništa manje važan faktor je ljudski nemar.

Šibensko-kninska županija smještena je na jugu Republike Hrvatske, u središnjem dijelu sjeverne Dalmacije. Sjeverna granica joj je sa Zadarskom županijom, južna sa Splitsko-dalmatinskom, na istoku graniči s Bosnom i Hercegovinom, a na zapadu tvori dio jadranske morske granice s Italijom. Sastoji se od pet gradova (Šibenik, Knin, Drniš, Skradin i Vodice) i 15 općina. Grad Šibenik je administrativni, politički, gospodarski i društveno - kulturni centar županije (URL 25). Samo na prostoru Grada Šibenika koji obuhvaća površinu od 404,93 km<sup>2</sup>, a broji ukupno 32 naselja u razdoblju od 2003. do 2013. zabilježeno je čak 1735 požara otvorenog prostora (Razvojna agencija ŠK županije, 2011) što znači da je 173 požara gradski godišnji prosjek. S obzirom da se na prostoru ove županije nalazi Nacionalni park Krka, koji prema Zakonu o zaštiti prirode spada u zaštićena područja, poseban naglasak stavljen je upravo na njega.



Slika 1. Prostorni obuhvat Šibensko-kninske županije

NP Krka s površinom od 109 km<sup>2</sup> proteže se kroz prostor Grada Knina, Drniša, Skradina, Šibenika te općine Ervenik, Kistanje i Promina. Obuhvaća dio toka rijeke Krke od njenog utoka u kanjon na zapadnom dijelu kninskog polja do skradinskog mosta i donjeg toka rijeke Čikole. Krka izvire u podnožju Dinare, a njen tok kroz područje NP sa svojim slapovima, brzacima, bukovima i ujezerenim površinama dug je 46 km (URL 12). Krka je proglašena nacionalnim parkom 1985. godine, a temeljni fenomen koji je doveo do proglašenja ove kategorije zaštite je dio toka rijeke Krke s kanjonom i slapištima na sedrenim barijerama, uz niz drugih geomorfoloških, hidroloških i pejzažnih vrijednosti (URL 13). Rijeka Krka ima sedam sedrenih slapova, a to su Bilušića buk, Brljanski slap, Manojlovac, Rošnjak, Miljacka, Roški slap i Skradinski buk, među kojima je najpoznatiji i turistički najposjećeniji Skradinski buk. NP utemeljen je s ciljem očuvanja iznimnih prirodnih i kulturno-povijesnih vrijednosti rijeke Krke, a ima kulturnu, odgojno-obrazovnu i rekreacijsku namjenu (URL 13). Požari na

prostoru NP su rijetki, ali ipak se zna dogoditi da se požari iz okolnog prostora prošire na područje parka.



Slika 2. NP Krka - Skradinski buk

Izvor: URL 20

#### 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Kako bi se ostvarili ciljevi rada te potvrdile ili opovrgnule postavljene hipoteze, u radu su se koristile različite metode. Prvi napravljeni korak bio je prikupljanje i proučavanje stručne i znanstvene literature koja služi kao teorijski okvir za pisanje rada. Za teorijski okvir prikupljene su informacije o vatrogasnoj strukturi i taktici kako bi se upoznali s njihovim potrebama. Na temelju postojeće literature postavljen je teoretski model integriranja GIS-a u složenu vatrogasnu strukturu te su ispitati njegove prednosti i nedostaci. Kako je GIS relativno nova tehnologija, a ideja ovog rada je napraviti primjenjiv model potrebno je način njegova funkcioniranja približiti korisnicima (vatrogascima u ovom slučaju).

S obzirom da su u radu analizirane zone ugroženosti od požara osnova za izradu ovih analiza je digitalni model reljefa (DMR). DMR korišten u radu dobiven je pomoću daljinskih istraživanja, a koristio se za definiranje morfometrijskih parametara reljefa kao što su nagib, vertikalna raščlanjenost i ekspozicija. U radu je korišten EU DEM, odnosno digitalni model reljefa za područje Europe, koji je izrađen u sklopu Copernicus programa. EU DEM je hibridni proizvod temeljen na SRTM i ASTER GDEM podacima povezanim metodom težinskog prosjeka (URL 11), a preuzet je sa stranice Europske okolišne agencije (European Environment Agency). Navedeni DMR prostorne je rezolucije 25 m, a nalazi se u geografskom referentnom sustavu ETRS 89.

Vegetacijske zone izdvojene su na temelju multispektralnog snimka satelita *Santinel 2* koji daje podatke visoke prostorne rezolucije (10 m). Izdvojene zone klasificirane su prema stupnju zapaljivosti na temelju iskustva kompetentne osobe (zapovjednik JVP-a Šibenik), na temelju vegetacijskog indeksa (NDVI - Normalized difference vegetation index) uz paralelnu usporedbu s digitalnom ortofoto kartom (DOF), preuzetom preko WMS-a (Web Mapping Service) Geoportala Državne geodetske uprave. Kod preuzimanja snimaka kriterij je bio da površinom prekrivaju cijelu Šibensko-kninsku županiju, da budu dostupni svi izvorni kanali te da sadrže što manje oblaka ili ih uopće nema. Također važno je da su snimljeni u proljetnim ili ljetnim mjesecima, odnosno u vegetacijskom periodu.

Zone ugroženosti od požara određene su primjenom višekriterijske analize i metodom analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) čiji će se principi detaljno objasniti u daljnjem radu. AHP ekstenzija omogućuje na istoj razini hijerarhije unos do 15 kriterija, a uvjet je korištenje minimalno dva rastera. U matricu se unose relativne važnosti pojedinih kriterija kako bi se izračunali težinski koeficijenti, a konačni rezultat je karta rizičnosti ili karta pogodnosti (ovisno o cilju istraživanja). U radu je napravljena usporedba rezultata AHP analize dobivenih kroz različito vrednovane parametre. Dakle parametri su vrednovani prema različitim izvorima,

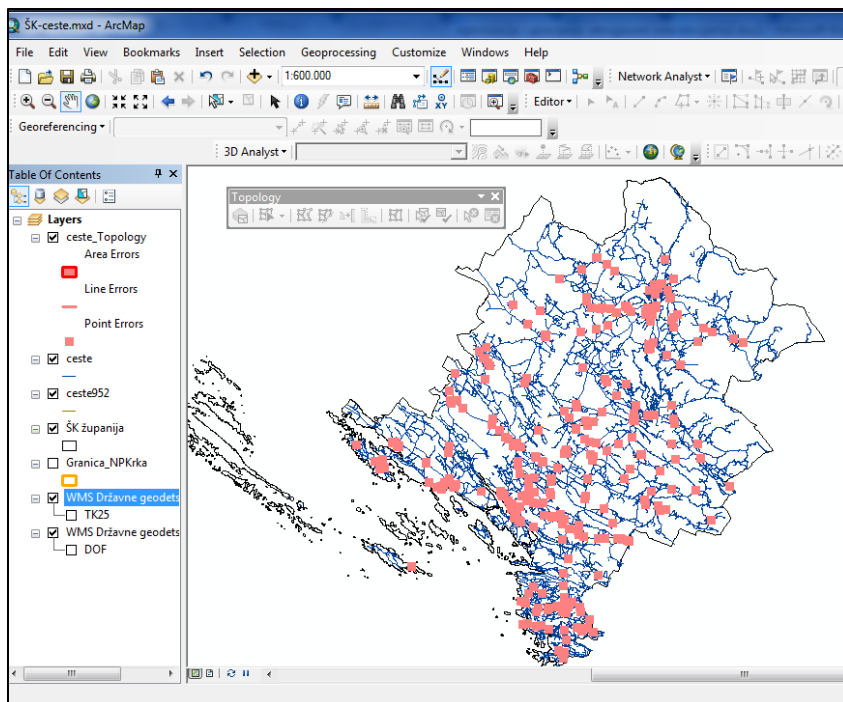
prema autorima (Sharma i dr., 2012) te prema procjeni JVP zapovjednika. Parametri su klasificirani u šest kategorija od kojih svaka predstavlja stupanj rizičnosti od požara. Klasifikacija je napravljena metodom jednakih intervala (Equal interval).

Analiza prohodnosti puteva na prostoru NP Krka spada u jednostavne analize a sastoji se od vektorizacije puteva (makadam) na temelju digitalne ortofoto karte (DOF) te pridruživanje atributa širine koju, dobivenu uz pomoć GIS alata measure na temelju DOF-a. Kako bi se putevi klasificirali prema prohodnosti vozila, potreban je i podatak o širini korištenih vatrogasnih vozila koji je dobiven na temelju razgovora sa zapovjednikom JVP-a Šibenik.

U radu će se koristiti ekstenzija ArcGIS Network Analyst koja omogućuje procjenu trajanja putovanja, kreiranje ruta, odabir lokacije za smještaj određenog objekta, određivanje najkraćeg/najbržeg puta, definiranje najbliže ustanove, analizu puta od mjesta polaska do cilja (URL 5). Network Analyst u ovom radu dolazi do izražaja kod optimiziranja operativne faze požara, odnosno pri odabiru najkraće rute između dviju lokacije te u preventivnoj fazi prilikom određivanja zona djelovanja vatrogasnih postrojbi.

Mreža prometnica koja se koristila u ovim analizama napravljena je u sklopu OpenStreet Map projekta (OSM), a preuzeta je sa stranice Geofabrika. Nužno je bilo napraviti klasifikaciju prometnica na području Šibensko-kninske županije (autocesta, brza cesta, državna, županijska i lokalna cesta te makadam i ostale ceste). Osim kategorija bilo je važno u atributnoj tablici dodati maksimalnu moguću brzinu kretanja vozila na pojedinom tipu prometnice. S obzirom na to da za vatrogasna vozila ne vrijede prometna pravila u smislu ograničenja brzine te da s obzirom na hitnost situacije mogu voziti koliko im to vozilo dopušta, procjena maksimalne brzine također je dobivena prema iskustvu vatrogasnog zapovjednika. Nakon prikupljanja podataka o brzini, slijedilo je uređivanje topologije cesta, prema kriterijima: ne smije biti preklapanja linija (must not overlap), linije se ne smiju preklapati same sa sobom (must not self-overlap) te mora biti jedinstvena linija (must be single line). Za provjeru topologije koristila se topografska karta Republike Hrvatske mjerila 1 : 25 000 te DOF s WMS Geoportala Državne geodetske uprave.





Slika 3. Uređivanje topologije cesta

Nakon uređivanja topologije, izrađen je *New Network Dataset* koji predstavlja model cestovne mreže s informacijama o jednosmjernim ulicama, zabranama polukružnih okretanja te pozicijama nadvožnjaka/podvožnjaka, datumima (Držaić, Kavran, 2014.). Na temelju *New Network Dataset* modela moguće je vršiti daljnje *Network Analyst* analize (*service area*, *shortest path* itd.). Osim navedenih alata ovisno o potrebama korišteni su različiti alati GIS aplikacija kao što su *ArcCatalog*, *ArcMap*, *ArcToolbox*.

## 5. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Pretraživanje relevantne znanstvene i stručne literature te pretraživanje web stranica pokazalo je da nema mnogo radova koji se bave primjenom GIS-a u upravljanju vatrogasnim intervencijama na području Hrvatske. Analizom rizika od požara bavi se rad koji je napravila **DUZS** (Državna uprava za zaštitu i spašavanje), pod naslovom: „*Višekriterijska analiza rizika od požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji*” (2012). U navedenom radu napravljena je procjena ugroženosti od požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Procjena je napravljena na temelju podataka koji utječu na nastajanje požara otvorenog tipa kakvima se bavi i ovaj rad. Ti podatci odnose se na klimatske (temperatura i relativna vlažnost zraka), topografske (ekspozicija, nagib padine), vegetacijske i antropogene (ceste, željeznička pruga, naselja) čimbenike. Osnovni cilj rada je prevencija požara, a odnosi se na predviđanje potencijalnog mjesta nastanka požara.

Slična tematika na prostoru Hrvatske obrađena je u diplomskom radu **Vukovića O. (2011.)**; *Geoinformacije u upravljanju u hitnim situacijama*. Rad se bavi proučavanjem uloge geoinformacijskih sustava u upravljanju rizikom, a poseban osvrt je dan na upravljanje rizikom u Gradu Zagrebu. Pod pojmom rizik misli se na prirodne i tehničko-tehnološke katastrofe. Dakle u radu je napravljen i primjer upravljanja u slučaju požara. Autor u svom radu koristi *GIS Cloud*.

Analizom požara u Šibensko-kninskoj županiji bavi se rad studentica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu **Držaić, Kavran (2014.)**, pod nazivom: *Određivanje mjesta sezonske dislokacije vatrogasnih postrojbi u Šibensko-kninskoj županiji- analiza u GIS-u*. U radu se na temelju analize prostornog uzorka požara pokušalo odrediti mjesta dislokacije vatrogasnih postrojbi. Istraživanje je pokazalo da se analizom gustoće požara ne može odrediti mjesto dislokacije, međutim analizom mreže cesta dobiveni su bolji rezultati.

Vodič za ekstenziju ArcMap-a *Network Analyst* napravila je tvrtka **ESRI (2013.)**. U vodiču su dane detaljnije upute za korištenje navedene ekstenzije te su popraćene brojnim vježbama koje su dobre smjernice za pisanje ovog rada. Također **ESRI (2012.)** objavila je rad: *GIS for the Fire Service* u kojem su razrađene mogućnosti primjene GIS-a u vatrogastvu. U radu je teorijski opširno obrađena tema, ali nisu dani konkretni primjeri.

Kao primjer određivanja najbolje lokacije koristan je doktorski rad **Alghariba S. (2011.)** naslova „*Distance and Coverage: An assessment of Location-allocation models for fire stations in Kuwait city*”. Kao što i sam naslov rada govori cilj rada je definiranje potrebnog broja vatrogasnih postrojbi te odabir za njih najbolje lokacije u Kuwaitu. Rad je koristan jer uspoređuje različite metode odabira najbolje lokacije.

Na istu temu napravljen je projekt pod vodstvom **David Burnsa (2003.)**: *Identification and evaluation of possible future fire station sites for the City of Ankeny, Iowa using computer modeling* namijenjen Nacionalnoj vatrogasnoj akademiji. U radu je prikazan model na temelju kojeg je autor odredio poziciju buduće vatrogasne postrojbe.

Rad autora **Chuvieco E. i Salas, J (1996)**: *Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS*, proučava regiju u središnjoj Španjolskoj koja je često izložena šumskim požarima. Za potrebe rada, analizirani su meteorološki podatci, topografija, gorivi materijali te antropogeni utjecaji. Na temelju navedenih podataka u radu je napravljena karta vjerojatnosti zapaljenja, karta opasnih materijala i ljudskih faktora. Sve navedene karte su objedinjene i integrirane u kartu opasnosti od požara na temelju kriterija utemeljenih od strane španjolskog sektora šuma (*Spanish Forest Service*).

U radu **Keane, R. E., Burgan, R., van Wagendonk, J. (2001)**: *Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing*, autori se bave problematikom izrade karata goriva koje se smatraju neophodnima za izračun prostorne opasnosti od požara. Ovakva kartiranja su zahtjevna i traže visoku razinu stručnosti iz različitih područja, a posebno daljinskih istraživanja. U radu su prikazane metode i tehnike kartiranja te je sa tog aspekta rad veoma koristan.

**Sharma K., Kanga S., Nathawat M.S., Sinha S., Pandey P.C. (2012)**: *Fuzzy AHP for forest fire risk modeling*. Cilj ovog rada je održivo planiranje prirodnih resursa te zaštita šuma u požara na temelju procijene ugroženosti od požara. Područje istraživanja je tropska šuma na području sjeverne Indije (Himachal Pradesh). U radu su definirani osnovni parametri koji utječu na nastanak požara (nagib, vegetacija, nadmorska visina, udaljenost od naselja i cesta, ekspozicija) te je napravljena višekriterijska analiza uz korištenje AHP metode.

## 6. MODELIRANJE U GIS-u - TEORIJSKA OSNOVA

Model je pojednostavljeni prikaz stvarnosti, odnosno objekt ili koncept koji se koristi za predstavljanje nečega drugog. Modeli nam aproksimiraju određeni objekt ili pojavu, kako bi je lakše mogli razumjeti i vizualizirati. Procesi na zemljinoj površini izrazito su kompleksni, pa ih je neusporedivo lakše proučavati uz prikladan model. Model može imati više specifičnih ciljeva, primjerice istraživanja, predviđanja procjene rizika, donošenje odluka u upravljanju okolišem. Neovisno o cilju važno je da model bude izrađen tako da zadovolji svrhu za koju je napravljen (Šiljeg, 2014).

Kada govorimo o modeliranju u GIS-u, važno je prvo približiti njegov koncept. Naime, geografski prostor sastavljen je od različitih objekata na točno određenim koordinatama i u međusobnim prostornim odnosima. Ti objekti različitim metodama prikupljanja podataka ulaze u prostorne baze podataka te im se po potrebi dodaju opisni podaci. Postoje različite metode kojima se te prostorne baze podataka dalje oblikuju, što predstavlja modeliranje. Najprije se izrađuje konceptualni model, nakon čega slijedi implementacija konceptualnog modela u matematički i fizički, koristeći se strukturom podataka i određenim algoritmima. Nakon napravljene prostorne analize te moguće nadopune ili proširivanja baze podataka, dobiva se izlazni proizvod. Ti proizvodi su izrazito bitni jer utječu na procese donošenja odluka i upravljanje određenim prostorom i procesima u njemu. (Pahernik, 2006.)

U svijetu GIS-a, pojam modeliranja ima dva važna značenja. Kao prvo, podatkovni model je definiran kao skup očekivanih podataka, tj. uzorak podataka za određenu primjenu. Primjerice, tablice su veoma jednostavni primjeri podatkovnih modela, a često su korištene u GIS-u. Tako redovi odgovaraju grupama ili razredima pojedinih entiteta, npr. državama, dok stupci predstavljaju osobine entiteta, tzv. atribute. Ovakvi modeli pomažu u stvaranju stvarne slike svijeta. S druge strane, model je prikaz jednog ili više procesa koji se događaju u stvarnom svijetu. Model nastao pomoću kompjuterskih programa, digitalni je prikaz jednog ili više aspekata stvarnog svijeta i transformira ga tvoreći nov prikaz. Model može biti statičan ako ulazni i izlazni podaci korespondiraju istom trenutku u vremenu, ili dinamičan, ako izlazni podatak odgovara kasnijem trenutku nego ulazni podatak (Pahernik, 2006.).

Statični model objedinjuje brojne podatke kako bi dali jedan koristan izlazni podatak. S druge strane, dinamični modeli predstavljaju procese koji mijenjaju ili transformiraju neke aspekte Zemljine površine tijekom vremena. Primjeri za to su brojni: prognoze vremena su utemeljene na dinamičkim modelima atmosfere, dinamički modeli tokova rijeka se koriste za predviđanje poplava, a dinamički modeli ljudskog ponašanja za predviđanje gužvi u prometu. Važno je naglasiti kako su svi podaci, oni ulazni i izlazni, korišteni u GIS-u prostorni, odnosno

objašnjavaju neku pojavu na površini Zemlje i imaju određenu točnu lokaciju. Ako dođe do promjene lokacije ulaznih podataka, mijenja se i rezultat modeliranja, tj. sam model. Modeliranje ima brojne primjene. Statični modeli nude pokazatelje koji služe u predviđanju učinaka, osjetljivosti ili ranjivosti pojava, dok dinamični modeli idu još dublje u analize učinaka u budućnosti te daju scenarije „što ako“ (Pahernik, 2006.).

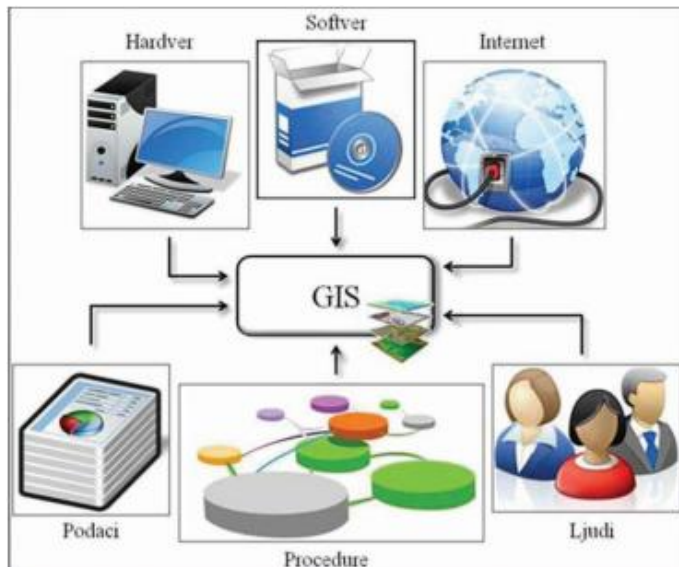
Geografsko-informacijski sustav, skraćeno GIS (eng. Geographical Information System) je automatizirani sustav za prikupljanje, pohranjivanje, pretraživanje, analizu i prikaz prostornih podataka (Clarke, 1995.). Namijenjen je radu s podacima koji su georeferencirani, odnosno definiran im je prostorni položaj, x, y i z koordinate (Frančula, 2004). Omogućava učinkovitu pohranu, ažuriranje, manipuliranje, analiziranje, interpretaciju i vizualizaciju svih oblika georeferenciranih podataka s mogućnošću rada na stolnim računalima, mobilnim uređajima i cloud tehnologiji (ESRI, 2012.).

Osnovna značajka GIS-a je sposobnost analize prostornih podataka te ga ona razlikuje od običnog sustava za izradu karata. GIS omogućuje rudarenje u podacima i izvođenje statističkih analiza s istovremenom vizualizacijom tih podataka u obliku karte. Upravo zbog svojih analitičkih sposobnosti primjenjiv je u širokom krugu oblasti za objašnjavanje događaja, predviđanje ishoda i planiranje strategije (Pahernik, 2006.). Njegove mogućnosti određene su preciznošću i sadržajem prikupljenih podataka te ugrađenim alatima i ekstenzijama (Šiljeg, 2014). Te značajke su doprinijele širenju primjene GIS-a i stalnom porastu broja korisnika, od Europske komisije preko istraživačkih instituta, državnih institucija, organizacija i agencija, pa sve do privatnih tvrtki i drugih korisnika. GIS se primjenjuje u gotovo svim granama ljudskog djelovanja i znanosti za praćenje i analizu različitih prirodnih i društvenih pojava (Šimić i Grizelj, 2014.). Smatra se interdisciplinarnom znanosti koja ujedinjuje nekoliko akademskih disciplina: geografiju, računalstvo, geodeziju, matematiku, statistiku i informacijsku znanost (metapodatci, metode pohrane podataka) (Pahernik, 2006.).

### 6.1. Komponente GIS-a

Sustav možemo definirati kao skup dijelova (elemenata ili objekata), veza između tih dijelova te njihova obilježja organiziranih u cjelinu, a sposobnih obavljati određenu funkciju (Pahernik, 2006.). Dakle to je skup elemenata organiziranih tako da zajedno postižu određeni cilj ili daju određeni rezultat. Geografski informacijski sustav sastoji se od nekoliko osnovnih elemenata, a to su:

- tehnička osnova ili hardware,
- programska potpora ili software,
- baze podataka ili database,
- GIS stručnjaci/korisnici
- procedure
- internet (Slika 4).



Slika 4. Komponente GIS-a

Izvor: Roland i dr., 2015.

Tehnička osnova ili hardware je uređaj pomoću kojeg korisnik stupa u kontakt sa sučeljem računala te koji omogućava da GIS radi. Hardveri se danas odnose i na prijenosna računala, mobilne telefone i druge uređaje koji podržavaju GIS tehnologiju. To su na primjer osobna računala, radne stanice, oprema za unos podataka kao što su digitalizatori, skeneri, videokamere, GPS prijammnici te digitalne kamere (Tutić, Vučetić, Lapaine, 2002). Programska potpora sadrži funkcije i alate za pohranu, analizu i prikaz prostornih podataka. Osnovne softverske sastavnice su alati za unos i manipulaciju podataka, sustav upravljanja bazom

podataka (DBMS), alati za prostorne analize, vizualizacije te korisničko grafičko sučelje za jednostavan pristup alatima (URL 3). Danas na tržištu postoji velik broj GIS-softverskih paketa (*ArcInfo*, *Grass GIS* itd.), koji se ovisno o potrebama korisnika mogu proširiti odgovarajućim ekstenzijama (*3D Analyst*, *Network Analyst*, *Spatial Analyst* i dr.). Osim ovlaštenih distributera za čije je korištenje potrebna licenca, postoje i „*open source*“ programi koji su dostupni putem interneta.

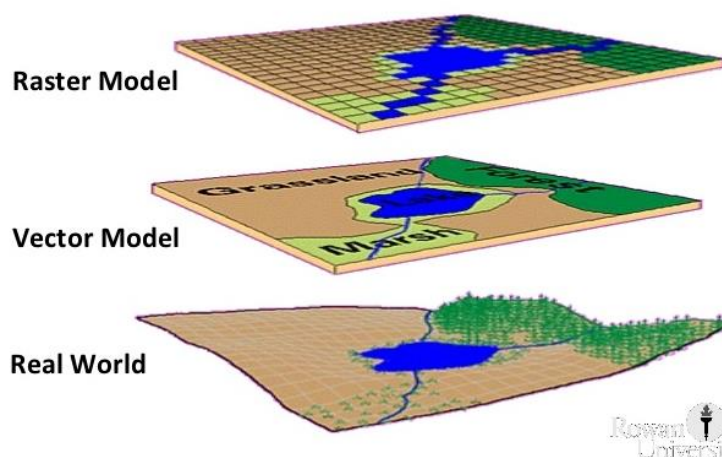
S obzirom na to da su središte GIS-a prostorni podatci, evidentno je da je baza podataka temeljni element informacijskih sustava (Pahernik, 2006.) bez koje nije moguće vršiti prostorne analize u GIS-u. Baza podataka je skup ustrojenih, logično povezanih zapisa ili datoteka, pohranjenih u računalu s mogućnosti automatskog pretraživanja. Pristupi podacima, stvaranje datoteka, unos i promjena te organizacija podataka unutar baza omogućeni su sustavom za upravljanje bazom podataka (DBMS). Za razliku od ostalih baza podataka koje mogu sadržavati prostornu informaciju (npr. ulične adrese) GIS-ove baze koriste se geolokacijskim podacima kao primarnim elementom za pohranu i pristup podacima (Pahernik, 2006.).

Osim softvera, hardvera i baze podataka ništa manje važan element su korisnici, odnosno GIS stručnjaci. Ljudi dizajniraju, programiraju, održavaju GIS sustave, prikupljaju potrebne podatke te na koncu interpretiraju rezultate dobivene analizom. U principu korisnik provodi istraživanje i interpretira podatke, a računalo je rješava složenije matematičke operacije. Procedure kao element GIS-a vezane su uz upravljački aspekt, one osiguravaju kontrolu kvalitete samog sustava. Na koncu važno je spomenuti i internet kao sastavni dio sustava, koji je danas postao glavni mehanizam društva za izmjenu informacija. Razvoj GIS-a i interneta tekao je istovremeno, kako je sve više ljudi prepoznavalo mogućnosti i jednog i drugog. Bitna stvar je da je velik broj geografskih podataka postao javno dostupan, a u skladu s tim razvio se velik broj aplikacija, internetskih stranica i portala, tzv. geoportala, koji su koristili GIS tehnologiju (URL 9).

## **6.2. Vrste podataka u GIS-u**

Kao što je ranije navedeno podatci su sama srž GIS-a te o njihovoj količini i kvaliteti ovisi uspješnost svakog GIS projekta (Pahernik 2006.). U geoinformacijskim sustavima podatci se po karakteristikama mogu podijeliti na prostorne i neprostorne. Prostorni podatci su svi oni podatci koji definiraju položaj objekata u prostoru (adrese, koordinate), a neprostorni su opisni atributi koji prikazuje kvalitativna (npr. tip zemljišta, vrsta tla) ili kvantitativna (npr. gustoća stanovnika) obilježja određenog objekta. Prostornom sastavnicom definirana je geometrija i

topološka struktura objekta, odnosno oblik, veličina i položaj modela objekta u prostoru. Spajanjem prostorne s opisnom (atributivnom) sastavnicom dobivamo definirani objekt iz stvarnog svijeta (Pahernik, 2006). Postoje različite metode prikupljanja prostornih podataka, a uglavnom se oni dobivaju terenskom izmjerom, daljinskim istraživanjima, GPS uređajima, skeniranjem karata, digitalizacijom, odnosno vektorizacijom s postojećih karata (Šiljeg, 2013). S obzirom na oblik podatci u GIS- u javljaju se u geometrijskom, grafičkom i atributivnom (opisnom) obliku. Geometrijski oblik podataka u GIS-u može i biti pohranjen u vektorskoj ili rasterskoj strukturi. Pri tome vektorski podatci su položajni podatci nuldimenzionalnih, jednodimenzijskih ili dvodimenzijskih objekata u prostoru u obliku pravokutnih koordinata (x,y) (Pahernik, 2006). Vektorski podatak javlja se u obliku točaka, linija i poligona koje su određene koordinatama u pravokutnom koordinatnom sustavu (Šiljeg, 2014).



Slika 4. Rasterski i vektorski oblik podataka

Izvor: URL 14

Za razliku od vektorskog, rasterski prikaz zasniva se na površinama, a ne na linijama. Rasterski model podataka prikazuje prostor podijeljen u mrežu ćelija, odnosno piksela kojima su pridodana atributivna obilježja. Osnovni geometrijski element je piksel. Položaj piksela određen je redom i kolonom u tzv. slikovnoj matrici. Sadržaj svakog piksela je jednoznačan, npr. kopno ili voda. U rasterskom prikazu ne razlikujemo točke, linije, površine, tj. ne postoji logička veza između slikovnih elemenata, već samo svojstva pojedinog piksela (npr. siva tonska vrijednost) (Pahernik, 2006.). Prikazivanjem bilo koje informacije rasterskim modelom podataka gube se svi detalji o varijacijama unutar ćelije te svaki piksel sadrži isključivo samo jednu vrijednost, onu dominantnu, bez obzira što je u nekoj manjoj mjeri zastupljena i neka



druga vrijednost. Entiteti, odnosno geografski objekti u GIS-u stvaraju se grupiranjem piksela. Osim geometrijskih podataka koji se dijele na vektorske i rasterske, razlikuju se još i grafički i opisni (atributivni) podatci koji se pridružuju geometrijskim. Grafički podaci su primjerice siva tonska vrijednost, boja, šrafura, simbol, linijska signatura itd. (Šiljeg, 2014). S druge strane opisni podatci su primjerice tekst, brojke, nazivi, svojstva itd. koje također pridružujemo geometrijskim podacima, a služe za proširivanje informacija o objektima, koje nisu vidljive iz samog prikaza. Nazivamo ih još tematski podaci ili atributi.

### **6.3. Baza podataka**

Temelj svakog informacijskog sustava, pa tako i GIS-a je baza podataka. To je skup organiziranih, logički povezanih zapisa ili datoteka, pohranjenih u računalu s mogućnošću automatskog pretraživanja (Pahernik, 2006.). Podaci se ne smiju bespotrebno ponavljati (Šiljeg, 2014), a omogućeno je dodavanje novih te premještanje i izmjena postojećih podataka. Podaci se pohranjuju po određenom modelu te na organiziran način. Što je baza bolje strukturirana veće su mogućnosti korištenja i analize podataka. GIS baza podataka od klasične baze razlikuje se prostornom komponentom, odnosno svim objektima u geoinformacijskoj bazi definiran je prostorni položaj. GIS objekti definirani su zemljišnim koordinatama, metrikom i topologijom s pridruženim atributima, tj. opisnim podacima (Pahernik, 2006.).

U GIS-u, baza podataka je utemeljena na principu *Data Base Management System-a* (DBMS), odnosno na sustavu za upravljanje podacima, koji služi kao veza između korisnika i samih podataka. On oblikuje fizički prikaz baze u skladu s traženom logičkom strukturom. Također, preko njega se izvršavaju sve operacije s podacima (URL 1). Koncept DBMS-a je jednostavan: podatci su organizirani u tablice, tablice sadrže retke, svi retci u tablici imaju iste stupce, svaki stupac je određenog tipa i može sadržavati decimalne brojeve, datume, znakove, slova itd. Postoje veze kojima se povezuju retci jedne tablice sa retcima druge tablice, a najčešće se povezuju na temelju zajedničkog stupca. Za upravljanje tablicama i podacima u njima osmišljen je standardni upitni jezik, tzv. *Standard Query Language* (SQL). Napravljen je na način da korisnik upravlja općim relacijskim tipom podataka te postavlja upite pomoću kojih dolazi do različitih rješenja. SQL je upitni jezik koji se temelji na relacijskoj algebri, a koristi se kao programski i interaktivni jezik (URL 2). Također, prostorni podaci, kao što su vektorski i rasterski tip podataka, prikazani su u tablicama na istim DBMS principima. Jedan od stupaca sadrži prostorne podatke za svaki geografski objekt. Tako npr. postoji polje za svaki poligon u vektorskom obliku podataka, kao i za svaki piksel u rasterskom obliku podataka.

#### **6.4. Primjeri metoda prikupljanja podataka**

Kako bi dobili adekvatne podatke o objektima i pojavama na zemljinoj površini kao nezaobilazna metoda koriste se daljinska istraživanja. Daljinska istraživanja su metode i tehnike prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Obuhvaćaju sve aktivnosti od snimanja, procesiranja, analiziranja, interpretacije, do dobivanja informacija iz podataka prikupljenih tim istraživanjem (Frančula i dr., 1994). Podaci se dobivaju s određene udaljenosti (od nekoliko stotina do nekoliko tisuća kilometara) instrumentima postavljenim u zračne ili svemirske letjelice. Cilj daljinskih istraživanja je brzo i ekonomično dobivanje preciznih informacija o relativno velikim područjima (URL 8).

##### **6.4.1. Satelitska detekcija**

Satelitskom detekcijom nastaju zapisi senzorskih sustava montiranih na satelitima koji omogućavaju snimanja i proučavanja Zemlje iz velikih daljina (150 – 36 000 km nmv) (Pahernik, 2012.). Pasivni uređaji (skeneri) odgovarajućim senzorima snimaju veći dio elektromagnetskog spektra (od ultraljubičastog do infracrvenog). Oni, naime registriraju reflektirano ili emitirano zračenje i pretvaraju ga u vidljivi, slikovni ili mjerni rezultat. Razlučivost satelitskih snimaka dobivenih skeniranjem kreću se između centimetarskih do kilometarskih dimenzija. Aktivni uređaji (radari) koriste vlastite izvore energije, odnosno imaju vlastite generatore koji proizvode elektromagnetsko zračenje određene frekvencije i trajanja koje pomoću antene usmjeravaju i odašilju kao impuls uglavnom okomito na smjer kretanja satelita pri čemu se dio energije reflektira od objekta na površini i radar ga hvata i registrira. Senzori imaju tri osnovne vrste rezolucije: spektralnu, prostornu i radiometrijsku (Pahernik, 2012.). Spektralna rezolucija temelji se na broju i širini spektralnih kanala, a to je obično jednako broju postavljenih senzora na platformi. Prostorna rezolucija određena je najmanjim elementom zemljišta vidljivim na ispisu senzorskog zapisa. Radiometrijska rezolucija određena je brojem sivih ili tonskih vrijednosti u boji odnosno brojem različitih intenziteta radijacije koje senzor može razlikovati. Osim navedene tri senzori imaju još i vremensku i ekonomsku rezoluciju. Razlike između aerofotogrametrije i satelitske detekcije su u rezoluciji i površini koju pokrivaju, odnosno za pokrivanje istog prostora potrebno je više aerosnimaka nego satelitskih (Pahernik, 2012.).

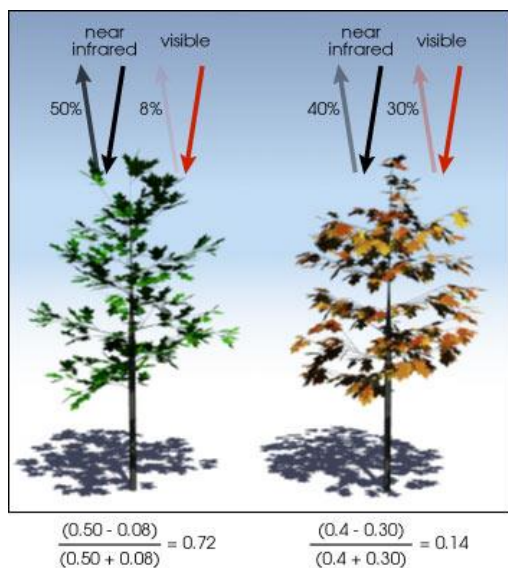
##### **6.4.1.1.Sentinel 2**

*Sentinel 2* je satelit lansiran u sklopu *Copernicus* programa promatranja Zemlje pod pokroviteljstvom Europske komisije i Europske svemirske agencije. Sateliti u sklopu

Copernicusa vrše terestričke opservacije za potrebe praćenja šuma, promjena zemljinog pokrivača i prirodnih nepogoda. Sastoji se od dva identična satelita, Sentinel 2A i 2B. Rezultat snimanja su multispektralni snimci, prostorne rezolucije 10 metara te 12 bitne radiometrijske rezolucije. Sustav za snimanje koji nosi satelit može snimati u 13 spektralnih valnih područja, od vidljivog spektra, bliskog infracrvenog pa do kratkovalnog infracrvenog područja, što omogućava monitoring Zemlje na visokoj razini (URL 10). Multispektralni sustav koristi višekanalni detektor i bilježi zračenja unutar uskih raspona valnih duljina, a iz snimka mogu se očitavati svjetlina i informacije o bojama. Svako spektralno područje nosi jedinstvenu skupinu informacija o okolini. Tako se primjerice vidljivi i infracrveni podaci upotrebljavaju za procjenu stanja (zdravlja) usjeva, šuma i drugih oblika vegetacijskog pokrivača Zemlje (URL 19). Zbog dobre prostorne razlučivosti, multispektralni snimci ovog satelita bit će korišteni za izdvajanje vegetacijskog pokrova na području Šibensko-kninske županije.

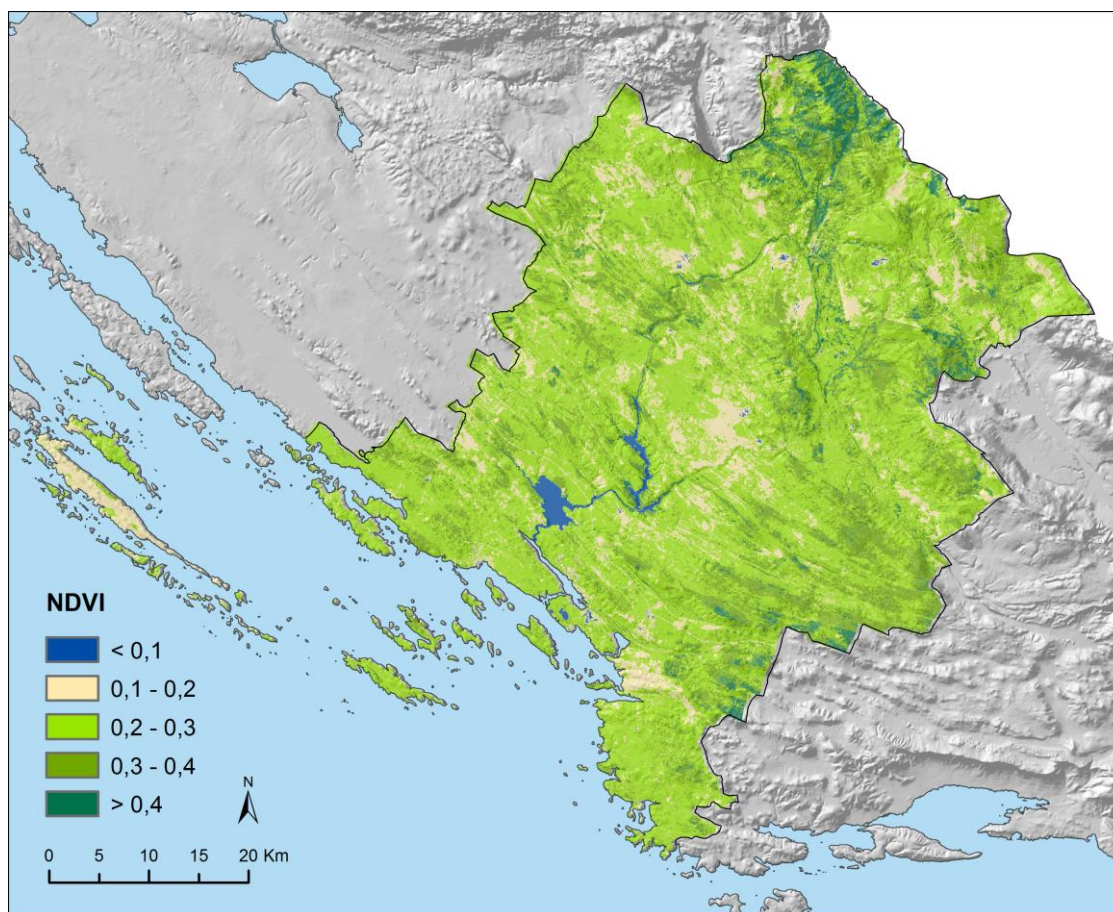
#### 6.4.1.2. Normalizirani vegetacijski indeks (NDVI)

Normalizirani vegetacijski indeks (NDVI) koristi se za opisivanje stanja vegetacije, odnosno generiranje prikaza zelenila relativne biomase. Klorofil najintenzivnije apsorbira valne duljine vidljive svjetlosti (od 0,4  $\mu\text{m}$  do 0,7  $\mu\text{m}$ ), a jako reflektira blisko infracrveno svjetlo (od 0,7  $\mu\text{m}$  do 1,1  $\mu\text{m}$ ) (URL 16). Različita refleksija u crvenom i bliskom infracrvenom dijelu spektra omogućava praćenje gustoće i intenziteta zelenila vegetacije. Zdrava vegetacija s puno klorofila ima jaču refleksiju u bliskom infracrvenom dijelu spektra od nezdrave, suhe vegetacije koja je pogodna za nastanak požara. Kada su listovi nezdravi, suhi postaju više žuti nego zeleni te imaju značajno slabiju refleksiju u bliskom infracrvenom dijelu spektra. Suprotno tome, oblaci, voda i snijeg pokazuju bolju refleksiju u vidljivom nego u blisko infracrvenom, dok kamenja i golo tlo gotovo nemaju razlike u refleksiji s obzirom na dio spektra. NDVI se računa kao normalizirani omjer refleksije u bliskom infracrvenom dijelu spektra te refleksije u vidljivom crvenom dijelu spektra. Matematička formula za računanje NDVI glasi ( $NDVI = ((IR-R)/(IR+R))$ ) (URL 16). Pri tome se oznaka IR odnosi na bliski infracrveni, a R crveni dio spektra. Vrijednosti izračuna su u rasponu od -1 do 1 pri čemu negativne vrijednosti predstavljaju vode, oblake ili snijeg. Vrijednosti blizu nule uglavnom se generiraju iz stijena i golog tla, odnosno predstavljaju područja bez vegetacije. Što su vrijednosti bliže 1 to je veća količina klorofila, a vegetacija zelenija i zdravija (URL 17).



Slika 5. Primjer računanja normaliziranog vegetacijskog indeksa

Izvor: URL 16



Slika 6. Normalizirani vegetacijski indeks na prostoru Šibensko-kninske županije

#### 6.4.2. Digitalni model reljefa

Digitalni model (matematički) reljefa je, statistički prikaz kontinuiranih površina reljefa (u vektorskom ili rasterskom obliku) s nizom poznatih x, y i z koordinata unutar proizvoljno odabranog koordinatnog sustava. U svjetskoj literaturi postoje neslaganja oko terminologije, tako da se često naziva i digitalni model terena (*digital terrain model*), *digitalni elevacijski model* (*digital elevation model*), digitalni osnovni model (*digital ground model*), digitalni model visina reljefa (*digital terrain elevation model*), digitalni model površina (*digital surface model*). U Hrvatskoj je uvriježeno digitalni model reljefa (Šiljeg, 2013.).

DMR može se koristiti u različite svrhe, a često je korišten za modeliranje terena i analize u strukama kao što su građevina, geoznanosti, vojska, geodezija. Modeliranje reljefa ne bi bilo moguće bez prostornih podataka, tako da je prvi korak prikupljanje podataka o proučavanom prostoru. Metode prikupljanja podataka su terenska izmjera, fotogrametrija, lasersko snimanje (LIDAR), radarsko prikupljanje podataka te vektorizacija s postojećih karata. Ove metode se razlikuju po točnosti, cijeni, gustoći prikupljenih točaka te zahtjevnosti obrade podataka (Šiljeg, 2013.). Terenska izmjera pokazala se najtočnijom, međutim vremenski i tehnički je dosta zahtjevna, pa se s obzirom na mogućnosti kombinira s nekom od ostalih metoda. Pri izradi modela potrebni su kontinuirani prostorni podatci, tako da svaki piksel ima svoju visinsku vrijednost. Kako je zahtjevno izmjerom obuhvatiti toliki broj točaka, kako bi dobili kontinuirane površine s podacima koriste se metode interpolacije. Interpolacijske metode koriste se za izračun novih vrijednosti na temelju izmjerenih dviju ili više vrijednosti (Šiljeg, 2013.). Kvaliteta izlaznog rezultata, odnosno DMR-a ovisit će o metodama, tehnikama i procesima prikupljanja podataka, metodama obrade i analize podataka, vertikalnoj raščlanjenosti područja, prostornoj rezoluciji te korištenim metodama interpolacije (Šiljeg, 2013.).

#### **6.5. Analize u GIS-u**

Analize u GIS-u podrazumijevaju skup tehnika i metoda pomoću kojih se prostorni podatci pretvaraju u korisnu informaciju. To je proces kojim se ispituju odnosi između prostornih obilježja te se izlazni rezultati mogu primijeniti pri objašnjavanju fenomena iz stvarnog svijeta prikazanog na karti. Prostorne analize u GIS-u temelje se na metrijskim i topološkim obilježjima prostornih objekata pohranjenih u bazi podataka. Topološka i metrijska obilježja omogućavaju provedbu brojnih analiza podataka koje nije moguće provesti na temelju osnovnih operacija unutar baza podataka s klasičnim podacima (Pahernik, 2006.).

## 7. PRIMJENA GISA U VATROGASTVU

U vatrogastvu se razlikuju preventivna i operativna djelovanja koja su međusobno usko povezana. Preventivna djelovanja poduzimaju se u svrhu sprečavanja nastanka požara i eksplozija, a očituju se u poduzimanju raznih mjera zaštite kojima se nastoje umanjiti posljedice požara (Szabo, 2001.). Da bi se mogle poduzeti adekvatne mjere zaštite od požara potrebno je poznavati i evidentirati moguće uzroke požara na zadanom području. S druge strane operativna djelovanja se poduzimaju u slučajevima nastanka požara, a svrha im je gašenje vatre, spašavanje ljudi i imovine te obavljanje drugih poslova ovisno o situacijama. Dakle preventivna djelovanja za cilj imaju smanjiti rizik nastanka požara, a operativna su skup aktivnosti koje se vrše kada do požara dođe (Szabo, 2001.).

U vatrogastvu razlikujemo strategijsku, taktičku i operativnu razinu kroz koje se ogleda nivo i sastav zapovjedništva, zadaće, postupci i sve ostalo što je potrebno da bi vatrogasna intervencija bila uspješna. Strategijska razina je najviša razina vođenja i zapovijedanja u vatrogastvu i determinira aktivnosti na nižim zapovjednim razinama (Šimić, 2013.). Pojam strategija odnosi se na upravljanje sustavom zaštite odnosno gašenja, a podrazumijeva upravljanje, nadzor, integraciju i koordinaciju vatrogasnih aktivnosti. Druga razina je taktička, a obuhvaća koordinaciju i upravljanje postrojbama pri obavljanju određenih zadataka. Posljednja hijerarhijska razina je vatrogasna operativa, a odnosi se na sposobnost konkretnog izvođenja praktičnih zadaća, definiranih kroz prethodne dvije razine. Vatrogasna operativa je disciplina koja pronalazi, proučava i usavršava zasnovane metode kroz praksu, a s ciljem što ekonomičnijeg i učinkovitijeg djelovanja vatrogasnih postrojbi (Szabo, 2001.).

GIS kao sustav podrške pri odlučivanju omogućava optimizaciju vatrogasnih intervencija kako na strategijskoj tako i na taktičkoj razini. Odnosno uz pomoć GIS-a mogu se ispitati teoretski modeli upravljanja te primjenom i usporedbom različitih metoda dobiti optimalna rješenja. U svakoj vatrogasnoj operativnoj djelatnosti tijekom rada moraju se poštivati određena načela, pogotovo kod složenijih i opasnih radnji gdje se spašavaju ljudi i materijalna dobra. Postavljena načela predstavljaju jamstvo za učinkovitost intervencije, a uz pomoć GIS-a mogu se lakše provoditi. Načelo operativnosti (pravovremenost) predstavlja osnovu vatrogasnog djelovanja, a podrazumijeva brzinu djelovanja i primjenu adekvatnih mjera. Sve radnje treba poduzeti brzo i učinkovito čim se za to stvore preduvjeti.

Prema načelu jedinstvenog rukovođenja bez odgovarajućeg sustava rukovođenja, prijenosa informacija i unaprijed utvrđenih odnosa, svaki operativni sustav postaje neupotrebljiv (Szabo, 2001) Sustav rukovođenja potrebno je kontinuirano obnavljati, dorađivati i usavršavati. Načelo zajedničke akcije pri složenijim događajima mora biti unaprijed

definirano te ga sve snage (vatrogasne, vojne, policijske i dr.) moraju razvijati. Načelo ekonomičnosti podrazumijeva da se troškovi intervencije i nastalih šteta svedu na minimalnu mjeru. Drugim riječima požar treba ugastiti s minimalnim mogućim ljudstvom i minimalnom količinom sredstava za gašenje, a pri tome nanijeti što manju materijalnu štetu. To se može postići adekvatnim izborom sredstava za gašenje i racionalnim korištenjem snaga. Načelo metodičnosti i planiranja koje govori kako svi postupci u vatrogasnoj službi trebaju biti metodičko zasnovani i planirani (Szabo, 2001.).

### **7.1. Optimizacija**

GIS je primjenjiv i učinkovit alat kada govorimo o optimizaciji vatrogasnih intervencija. Vatrogasne intervencije mogu se optimizirati s više aspekata, a neki od primjera optimizacije su odabir lokacije za smještaj vatrogasne postrojbe ili odabir lokacije za pozicioniranje osmatračnica te odabir ruta do požarišta po zadanim kriterijima (npr. najkraća udaljenost, najmanja gužva). Općenito govoreći optimizacija predstavlja matematički model čiji je cilj odabir najboljeg rješenja određenog problema poštujući zadane uvjete i restrikcije. Problem optimizacije se uglavnom izražava u formi objektne funkcije i broja ograničenja. Generalno, radi se o pronalaženju najbolje dostupne vrijednosti objektne funkcije. Objektne funkcije i ograničenja sastoje se od varijabli i parametara. Ograničenja utvrđuju uvjete i restrikcije i uglavnom se sastoje od jednakosti ili nejednakosti između varijabli i parametara (Ulander 2015). Cilj optimizacije je pronaći ostvarivo rješenje varijabli i parametara koje mora biti kompatibilno s ograničenjima koji minimiziraju (ili maksimiziraju, ovisno o problemu i cilju) objektne funkcije sa zadanim vrijednostima. Objektne funkcije se još nazivaju i troškovne funkcije (*cost function*) ako je cilj minimizacija, odnosno korisna funkcija (*utility function*) ako se radi o maksimizaciji. Ostvarivo rješenje koje ovisno o cilju minimizira ili maksimizira objektne funkcije naziva se optimalno rješenje (Bertsimas, Tsitsiklis 1997., Ulander 2015).

### **7.2. Gis organizacija podataka**

U vatrogastvu je od izrazite važnosti kontinuirano prikupljanje podataka o prostoru djelovanja, međutim kako se podatci prikupljanju iz različitih izvora pohranjuju se u različitim formatima i uglavnom nisu objedinjeni u bazi podataka, što ograničava mogućnost manipulaciju, korištenje i pristup podacima (Chuvieco i Salas 1996., Roland i dr., 2015.).

Prikupljaju se različite vrste podataka, no u pravilu su oni vezani za neku lokaciju. Primjerice bilježe se sve intervencije na koju su jedinice određene postrojbe izašle tijekom godine. Za svaku intervenciju je važno zabilježiti vrijeme, mjesto požara te broj vatrogasnih

jedinica koje su izašle na teren. Na koncu se vrši i procjena štete nastale kao posljedica požara. Povijest požara važno je voditi kako bi se provele mjere predostrožnosti. Ipak to je sve tek manji obim podataka koji vatrogasni djelatnici moraju prikupljati. Tako na primjer da bi se proveo plan zaštite od požara za određeni prostor potreban je čitav niz podataka. Prostor je važno detaljno poznavati kako bi se mogle provesti protupožarne mjere, a za detaljnu sliku o prostoru potrebno je prikupiti podatke o broju naseljenih mjesta, stanovnika u njima, podatke o gospodarskim zonama, prometu, reljefu, klimatskim prilikama. Zatim važno je napraviti pregled elektroenergetske mreže, hidranata, vatrogasnih postrojbi, dobrovoljnih društava, građevina, objekata, plinovoda, šumskih, poljoprivrednih površina te svih lokacija na kojima se nalaze veće količine zapaljivih tekućina i plinova te drugih opasnih tvari itd.

Kako su svi od navedenih podataka prostorni, GIS ima sposobnost dobro organizirati te izvući maksimum od tih podataka uz pomoć različitih alata za analize. Aplikacije unutar komercijalnih i besplatnih (open source) GIS softvera pružaju višestruke mogućnosti izrade, organiziranja i upravljanja bazom podataka s brzim pristupom (Steiniger i Bocher 2009., ESRI 2012, Roland i dr., 2015). Prednost GIS-a je što su skupovi podataka spremljeni u obliku vektorskih i rasterskih slojeva koji se mogu preklapati. Kada su slojevi preklopljeni omogućuje je prepoznati različite pojave, trendove, zone interesa te ugrožena područja. GIS ima mogućnost upravljanja podacima (permanentno pohranjivanje, slobodno modeliranje, generiranje novih informacija) koji su georeferencirani. Uz takav podatak moguće je vezivanje i ažuriranje velikog broja informacija unutar atributne tablice. Tako se uz lokaciju prethodnih požara mogu vezati dodatni atributi koji detaljnije opisuju navedeni podatak: tip nesreće, uzrok, datum, jedinica koja je odgovorila na incident i vrijeme odgovora (ESRI 2012., Roland i dr. 2015). Ono što razlikuje GIS bazu podataka od klasične baze je osim što omogućava napredno pretraživanje i brz pristup svi ti podatci mogu se vizualizirati.

### ***7.3. Primjena GIS-a u odabiru nove lokacije tornjeva na otkrivanje požara - analize vidljivosti***

Analize vidljivost za cilj imaju definiranje prostora vidljivog s određenog stajališta. Primjenjuju se u vojnim analizama, arheologiji, modeliranju promjena u okolišu te prevenciji, planiranju i upravljanju požarima (Pompa-Garcia et al 2010, Maloy i Dean, 2001, Ronald i dr. 2015). Prilikom provođenja analize vidljivosti u GIS-u kao osnova analize potreban je DMR te potencijalna lokacija promatračkog tornja (ESRI, 2012, , Ronald i dr. 2015). Ostali faktori koji utječu na vidljivost mogu biti: klimatski uvjeti, visina i gustoća vegetacije te doba dana.



Međutim kako bi analiza bila uistinu relevantna važno je u obzir uzeti vegetacijski pokrov koji svojim postojanjem direktno utječe na vidljivost. Cilj takvih analiza je utvrđivanje trenutnog i potencijalnog područja vidljivosti sa specifične lokacije (tornja) te predlaganje alternativne prostorne distribucije nadzornih tornjeva u svrhu povećanja učinkovitosti, odnosno postizanja maksimalno vidljive površine sa što manje lokacije. Rezultati se ovisno o svrsi istraživanja izražavaju u postocima trenutne i potencijalne površine vidljivosti (Pompa-Garcia i dr. 2010, Ronald i dr. 2015). Nadalje, ako postoji nekoliko promatračkih lokacija moguće je odrediti koliko je njih vidljivo sa specifične promatračke točke (ArcGIS Desktop 10.1 Help, Ronald i dr. 2015). Analize vidljivosti su bitan čimbenik u procesu modeliranja indeksa rizika od požara jer ako se požar nalazi u zaklonjenom području, kasnije će biti zapažen te ga je teže staviti pod kontrolu.

Analize vidljivosti provode se unutar ekstenzije *Spatial Analyst – Surface*, ili *3D Analysta - Visibility*. Dva najčešća korištena alata su *Viewshed* i *Observer points*. Potrebni ulazni podatci su točke ili linije (vektori) koje predstavljaju osmatračnice te digitalni model reljefa. (ArcGIS Desktop 10.1 Help). Krajnji rezultat je raster koji sadrži ukupan broj piksela vidljivih i nevidljivih sa zadane lokacije. Razlika između ova dva alata je što *Observer points* ima još mogućnost identificiranja površine DMR-a s koje se vide osmatračnice (ArcGIS Desktop 10.1 Help).

#### **7.4. Digitalna analiza reljefa za potrebe vatrogastva**

Digitalna analiza reljefa predstavlja skup metoda i tehnika koje se koriste za izvođenje morfometrijskih parametara ili varijabli (Shary i dr., 2002., Šiljeg 2013), ili generalnih informacija o terenu na temelju digitalnog modela reljefa (Šiljeg, 2013). Geomorfološki parametri mogu se podijeliti na morfometrijske, hidrološke i klimatološke (Hengel i dr., 2003, Šiljeg, 2013.). Morfometrijski parametri su primarni, a definiraju morfologiju terena (nagib, ekspoziciju, hipsometriju i zakrivljenost padina) (Šiljeg, 2013).

Morfometrija je kvantitativna analiza reljefa kojom se utvrđuju različiti veličinski parametri reljefa određenog prostora. U sklopu morfometrijske analize najčešće se primjenjuju analiza hipsometrijskih obilježja, analiza nagiba, analiza ekspozicije padina te analiza vertikalne raščlanjenosti reljefa. Za potrebe vatrogastva uglavnom se koriste analize nagiba, ekspozicije padine, hipsometrije. Na temelju ovakvih analiza vatrogasci dobivaju direktan uvid u izgled terena. Morfometrijski parametri nagib i ekspozicija obično se koriste kao jedni od brojnih parametara višekriterijske analize ugroženosti od požara (Netolicki, 2011).

Što je nagib padine veći to se vatra brže širi. Topli zrak penje se i pred sobom isušuje gorivi materijal. Rijetka je pojava da se požar širi niz padinu (tada je požar potpomognut jakim vjetrom koji puše niz padinu). Požar koji izbije u podnožju padine i u vrijeme bez vjetra, gorenjem izaziva strujanje toplog i hladnog zraka pa širenje požara napreduje uz padinu (Netolicki, 2011). Proučavanjem povijesti požara može se ustanoviti najraširenija kategorija nagiba na opožarenom području.

Ekspozicija padine označava u kojem je smjeru ona nagnuta. To je bitno zbog osunčanosti, koje označava je li padina orijentirana na toplije ili hladnije strane. Opća pogodnost ekspozicije dijeli se na:

Sjever – hladna ekspozicija

Sjeveroistok, sjeverozapad – umjereno hladna ekspozicija

Istok, zapad – neutralna ekspozicija

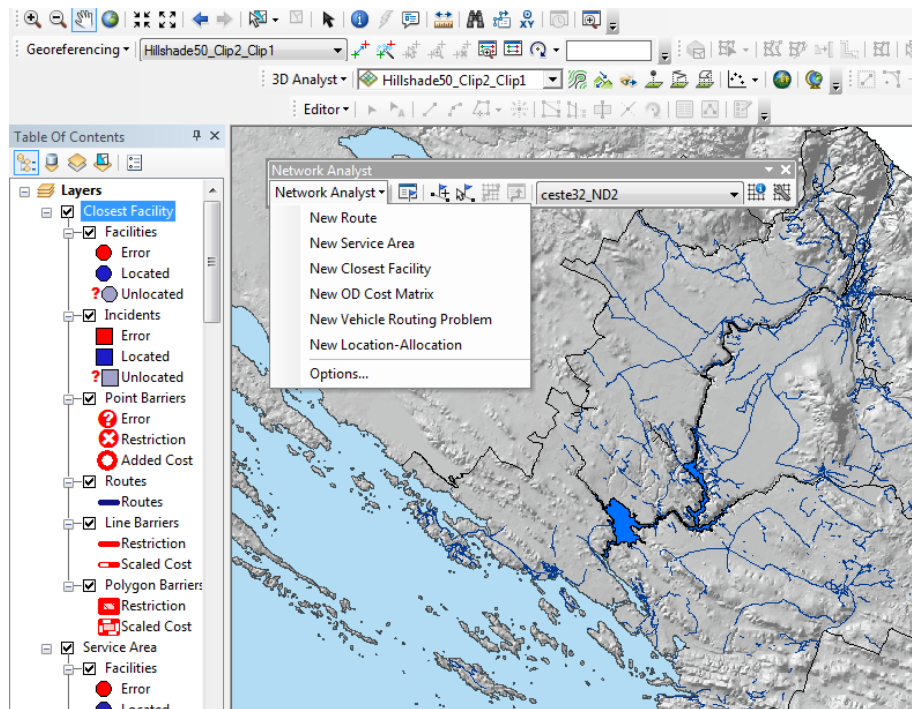
Jugoistok, jugozapad – topla ekspozicija

Jug – vrlo topla ekspozicija (Radoš, D., Lozić, S., Šiljeg, A., 2012).

Ekspozicija padine znatno utječe na pojavu požara jer su mikroklimatski i vegetacijski elementi određeni stranama svijeta. Sjeverne padine kraće su izložene sunčevu zračenju. Južne i jugozapadne padine duže su vremena izložene sunčevu zračenju, pa se na tim ekspozicijama razvijaju kserofitne biljke. Poznato je da suha staništa i biljna struktura na takvim tlima pogoduje pojavi požara, a uz to treba naglasiti da sunčeva toplina tijekom dana utječe na pojavu vjetra koji puše iz doline prema vrhu (Netolicki, 2011.).

### **7.5. Korištenje *Network Analysta* za vatrogasne analize**

*Network Analyst* je ekstenzija ArcGIS-a koja omogućava prostorne analize temeljene na mrežama. Sastoji se od više alata koji omogućavaju definiranje najbliže lokacije od zadane točke, pronalaženje najbrže rute, kreiranje novih ruta, procjenu trajanja putovanja, analizu puta od mjesta polaska do cilja, odabir optimalne lokacije za smještaj određenog objekta, definiranje mjesta optimalne dislokacije postojećih objekata te određivanje zone utjecaja oko određene lokacije (URL 5). *Network Analyst* stvara realističnu sliku cestovnih uvjeta uključujući stvarna ograničenja kao što su ograničenje brzine, jednosmjerne ulice, moguća skretanja na raskrižjima te prometni uvjeti ovisno o dobu dana.



Slika 7. Network Analyst izbornik

Mrežne analize unutar *Network Analysta* uglavnom se temelje na *Dijkstra* algoritmu odnosno algoritmu najkraćeg puta. Kada govorimo o najkraćem putu između određenih lokacija važno je naglasiti da najkraći put ne mora nužno biti i najbrži te da su uvjeti na prometnoj mreži važan čimbenik odabira rute. Svrha algoritma je naći optimalno rješenje ovisno o zahtjevima korisnika. Tako primjerice kriterij može biti vrijeme, najmanja cijena putovanja s obzirom na cestarine, najmanja potrošnja goriva itd.

Za izvođenje analiza temeljenih na mreži potrebno je prikupiti topološki točne podatke o cestovnoj mreži istraživanog područja. Prikupljenim podacima potrebno je pridružiti atributivne podatke koji se odnose na duljinu prometnice (*shape length*), maksimalnu dozvoljenu brzinu ovisno o tipu prometnice te izračunati vrijeme potrebno da se prevali pojedini segment puta. Također moguće je pridružiti bilo koji kvalitativni ili kvantitativni podatak s kojim raspolažemo. Potom slijedi izrada podatkovnog skupa prometne mreže (*network dataset*) unutar *ArcCataloga*, koji se sastoji od ruta (linija) i čvorova (točke). Brojne su mogućnosti koje nam preciziraju pretragu i čine ovaj alat efikasnim. Tako je moguće ograničiti pretragu na određeni prostor, uvesti restrikcije, procijeniti „trošak“ puta te definirati situacije koje želimo izbjeći pri izboru rute (URL 6).

### 7.5.1. Definiranje optimalnih ruta kretanja vatrogasnih vozila – *New Route*

Imperativ svih vatrogasnih intervencija su brzina i točnost reakcije. U tom kontekstu, implementacija GIS-a u vatrogasni sustav omogućuje, zahvaljujući implementiranim algoritmima, eliminiranje eventualnih ljudskih pogreški prilikom odabira puta te značajno skraćivanje vremena intervencije (Sari, Erdi, 2012). *Network Analyst* sadrži alat *New Route* koji kako i sam naziv kaže pomaže kreiranju rute između zadanih lokacija. Ruta se određuje na temelju zadanih parametara, a to mogu biti kako je već rečeno potrošnja goriva, brzina, gužve na cesti itd (URL 6).

### 7.5.2. Određivanje najbliže lokacije od zadane točke - *Closest Facility*

*Closest Facility* je alat koji se koristi za određivanje najbliže ustanove (*Facility*) iz skupa ustanova u odnosu na zadanu lokaciju. Zbog svoje prirode ovaj alat se često koristi za optimiziranje vatrogasnih intervencija te intervencija hitne pomoći, no naravno može se koristiti i u bilo koje druge svrhe. Naime, on izdvaja najbližu ustanovu (npr. vatrogasna postrojba) u odnosu na zadanu lokaciju te kreira optimalnu rutu do nje (URL 6). Kad kažemo optimalna ruta to ne podrazumijeva samo najkraći put, već se u obzir uzimaju bilo koji parametri s kojima upravljamo. Također prilikom pretrage najbliže ustanove moguće je ograničiti pretraživanje na određeni prostor. Primjerice moguće je postaviti parametre tako da *softver* pretražuje samo rute u krugu od 15 km od ustanove. Ako se radi o vatrogasnim postrojbama one do kojih treba više od te udaljenosti automatski se isključuju iz pretrage. Također mogu se i definirati situacije koje se žele izbjeći, primjerice tipično vrijeme najvećih gužvi u prometu. Ovaj alat koristan je i stoga što omogućava simultano izvođenje više analiza (URL 6). To znači da je moguće imati više lokacija požara i od svake od njih pronaći najbližu vatrogasnu postrojbu i pri tom optimizirati rutu. Brojne su mogućnosti unutar alata koje nam preciziraju pretragu i čine ovaj alat efikasnim. S obzirom na rastući trend u svijetu ugradnje GPS uređaja u vatrogasna vozila, ovaj alat ima visoki potencijal u optimizaciji intervencija. Naime kada znamo položaj svakog vatrogasnog vozila u datom trenutku, moguće je uz pomoć spomenutog alata definirati koje je vozilo najbliže mjestu nesreće te ga usmjeriti do navedene lokacije, bez nepotrebnog troška i gubitka vremena.

### 7.5.3. Definiranje područja djelovanja vatrogasne postaje – *Service area*

*Service area* je alat koji se koristi za definiranje zone utjecaja bilo koje lokacije na mreži cesta. Izlazni poligon obuhvaća sve dostupne ulice od određene lokacije unutar zadanog vremenskog intervala (npr. 5-10-15 min) Primjerice zona vatrogasne postrojbe od pet minuta obuhvaća sve

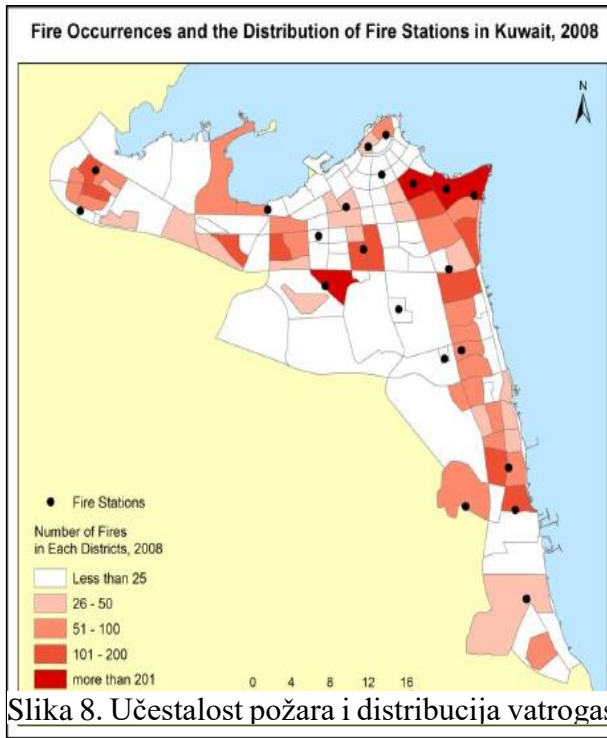
ceste do kojih se može doći u navedenom vremenom. Zone utjecaja mogu se kreirati u svrhu procijene pristupačnosti određene lokacije te mogu biti prikazane u obliku koncentričnih krugova koji pokazuju varijabilnost dostupnosti ovisno o udaljenosti ili nekom drugom postavljenom parametru (potrošnja goriva, brzina). Izlazni poligon osim što prikazuje veličinu mreže cesta kroz vremenski aspekt i udaljenost, može definirati i broj stanovnika, objekata ili bilo koji drugi kvantitativni podatak unutar pojedine zone (URL 6).

#### 7.5.4. Određivanje optimalne lokacije vatrogasne postrojbe - *Location-allocation*

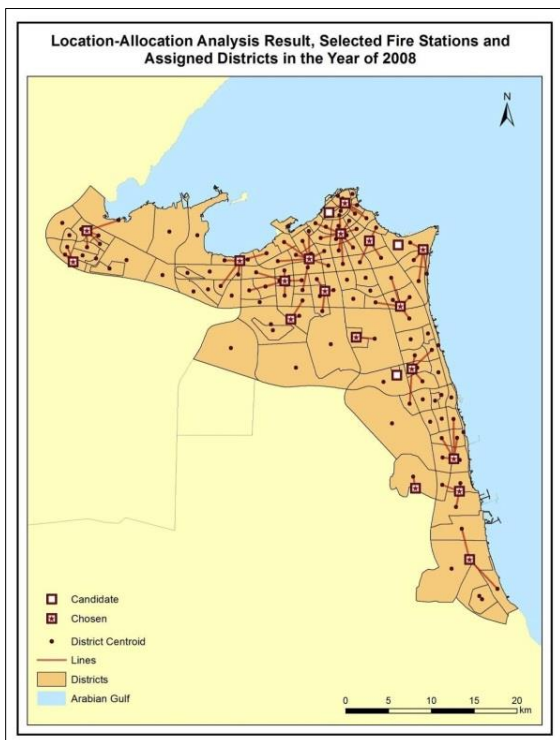
*Location-allocation* modeli koriste se za određivanje optimalne lokacije iz zadanog skupa potencijalnih mjesta. Pri odabiru vatrogasnih postrojbi uključene su tri komponente: lokacije požara (*Demand points*), potencijalne lokacije vatrogasnih postrojbi (*Facilities*) te udaljenost od potencijalnih mjesta do lokacija požara (*Lines*). Osnovni kriteriji odabira su: vrijeme potrebno za intervenciju i veličina područja kojeg potencijalna lokacija pokriva s obzirom na distribuciju požara (Alghariba 2011.). Cilj je odabrati lokaciju koja pokriva što veće područje, a da je istovremeno moguće do mjesta požara doći unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju kako bi se postigla očekivana razina sigurnosti.

Unutar alata *Location-allocation* za odabir najbolje lokacije koriste se dvije funkcije: *Allocation rules* i *Objective functions*. *Allocation rules* potencijalnim lokacijama dodjeljuju mjesta dotadašnjih požara koja se nalaze unutar zadanog vremena za intervenciju. *Objective functions* definiraju optimalan položaj koristeći različite ugrađene algoritme (Alghariba 2011.). Nakon utvrđivanja potencijalnih lokacija vatrogasnih postrojbi i utvrđivanja lokacija požara, u ArcGIS softveru na raspolaganju je šest metoda za odabir potencijalnih mjesta za premještanje postrojbi: *Minimize Impedance*, *Maximize Coverage*, *Minimize Facilities*, *Maximize Attendance*, *Maximize Market Share* i *Target Market Share*. Na temelju potreba i usporedbom pojedinih metoda bira se najprikladnija (Alghariba 2011.).

Primjer određivanja najbolje lokacije naveden je u radu Alghariba S.(2011) na primjeru grada Kuvajta. U radu se pomoću GIS-a prikazala postojeća distribucija vatrogasnih postrojbi u Kuwaitu te se pokazalo jesu li zadovoljene sve sigurnosne potrebe. Tako utvrđeno je koji dijelovi grada imaju slabu pokrivenosti unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju. Cilj rada bio je utvrditi optimalan broj i lokacije vatrogasnih postrojbi u Kuvajtu kako bi se što efikasnije iskoristile površine i zaštitio što veći broj stanovnika. Na priloženim kartografskim prikazima prikazana je učestalost, odnosno povijest požara na području grada Kuvajta te postojeća distribucija vatrogasnih postrojbi 2008. godine (Slika 8) te je dan prijedlog novih lokacija kako bi se pokrila požarima ugroženija područja (Slika 9).



Slika 8. Učestalost požara i distribucija vatrogasnih postrojbi u Kuwaitu 2008.  
Izvor: Algharib 2011.



Slika 9. Odabrane vatrogasne postrojbe 2008. godine - *location-allocation* analiza

Izvor: Algharib 2011.

### **7.6. Višekriterijske analize kao podrška u donošenju odluka**

Višekriterijske GIS analize (multicriteria GIS analysis – GIS-MCDA) koriste se u svrhu donošenja kompleksnih odluka, kada nam više postavljenih kriterija utječu na konačni rezultat. Ovakav tip analiza uključuje skup metoda kojima se optimizira upravljanje složenim situacijama sa više kriterija koji mogu biti međusobno konfliktni ili komplementarni (Vlah, 2008).

Kriteriji su opisna svojstva koja se razmatraju, mogu se kombinirati, vrednovati te uobličiti u pravila kod donošenja odluka. Proces optimizacije uključuje višestruka moguća rješenja od kojih svaki ima prednosti i nedostatke. Vrednovanje mogućih odluka podložno je subjektivnom dojmu donositelja odluke te ovisi i o težinama, odnosno važnostima kriterija (Vlah, 2008). U analizama se koriste softverski implementirani algoritmi koji se primjenjuju na prikupljenim podacima relevantnima za donošenje određene odluke. Sustav daje matematičko rješenje, a na stručnjaku je da kontrolira dobivene rezultate.

Višekriterijske analize koriste se u raznim područjima, kojima je za donošenje odluke imperativ raspolaganje s više podataka. Primjer su prostorno planiranje, promet, ekologija, ekonomija, vojska, vatrogastvo, hitna pomoć i druge struke s izraženim upravljačkim segmentom. Višekriterijska analiza može se definirati kao model donošenja odluka koji se sastoji od skupa rješenja (varijanti koje treba rangirati ili razvrstati), skupa kriterija (većinom su to višedimenzionalni kriteriji koji se stoga mogu vrednovati samo različitim mjernim jedinicama), vrijednosti (ocjena, težinski koeficijent) svake varijante po svakom kriteriju (Hajkowicz i Collins 2007, Deluka-Tibljaš i dr.,2013).

Ova metoda procjene rangira varijante rješenja ili određuje ocjenu varijanti u odnosu na veći broj kriterija. Svaka varijanta se vrednuje u odnosu na svaki kriterij (atribut). Trebaju nužno postojati barem dvije varijante i barem dva kriterija (Nikolić i Borović 1996., Deluka-Tibljaš i dr., 2013). Kriteriji mogu biti kriteriji tipa maksimizacije (npr. koristi) ili kriteriji tipa minimizacije (npr. troškovi) Ako svi kriteriji nisu jednako važni dodjeljuje im se težinski koeficijenti (ponderi). Metodologija primjene višekriterijske analize obuhvaća sljedeće korake:

1. razraditi više rješenja,
2. odrediti kriterije,
3. vrednovati rješenja po svim kriterijima,
4. odrediti težine kriterija,
5. rangirati ili sortirati rješenja,
6. provesti analizu osjetljivosti,

7. donijeti konačnu odluku (Hajkowicz i Collins, 2007, Deluka-Tibljaš i dr., 2013).

#### 7.6.1. Postupak provođenja višekriterijskih analiza u GIS-u

Za provođenje višekriterijskih analiza u GIS-u moraju se pratiti određeni koraci. Prvi je određivanje cilja koji je ostvariv, mjerljiv, relevantan i vremenski vezan. Drugi korak je određivanje kriterija, odnosno faktora. Kod određivanja faktora mora se odlučiti koliko detalja je potrebno u analizi. Kriteriji moraju biti također mjerljivi. Treći korak je standardiziranje ocjene kriterija. Potrebno je postaviti zajedničke vrijednosti faktora sa zajedničkim uvjetima kako bi usporedbe bile moguće. Za standardiziranje kriterija koriste se različite metode poput *Fuzzy Membership* i *Fuzzy Overlay*, a oni koji donose odluke o kriterijima moraju biti upoznati s cijelim projektom i biti u mogućnosti donijeti točnu procjenu funkcija koje će se koristiti za svaki kriterij. Četvrti korak je određivanje težine svakog faktora, nakon čega slijedi grupiranje kriterija. Posljednji je korak potvrđivanje, odnosno provjera rezultata (Estoque, 2011).

##### 7.6.1.1. Metode standarizacije kriterija: *Fuzzy Membership* i *Fuzzy Overlay*

Metoda *Fuzzy Membership* ulazni podatak transformira u skalu od 0 do 1 koja pokazuje snagu nekog člana u nizu na temelju određenog algoritma. Vrijednost 1 pokazuje potpuno članstvo, odnosno pripadnost *fuzzy* nizu, dok vrijednost 0 označava da ulazni podatak (*input*) nije član niza. *Fuzzy Membership* ima različite tipove, a najčešći su:

*Fuzzy Gaussian* - funkcija koja pretvara originalne vrijednosti u normalnu distribuciju. Sredina normalne distribucije označava idealnu definiciju niza koja ima vrijednost 1, dok se ostale vrijednosti unosa smanjuju kako se miču od srednje točke u pozitivnom ili negativnom smjeru (URL 7).

*Fuzzy Large* funkcija se koristi kada se za vrijednosti unosa pretpostavlja da će biti član niza. Srednja točka je točka prijelaza (0.5), a vrijednosti iznad točke prijelaza imaju veću šansu biti članovi niza (URL 7).

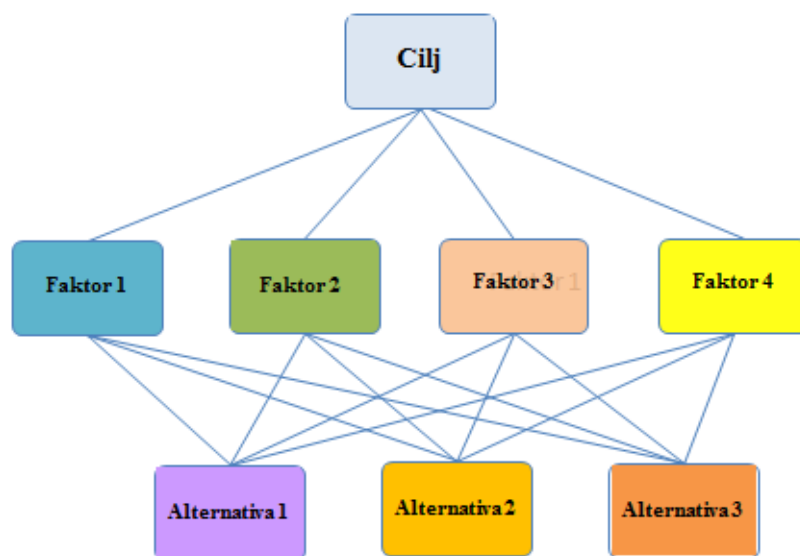
*Fuzzy Linear* - funkcija linearne transformacije primjenjuje linearnu funkcije između određenog minimuma i maksimuma. Sve ispod minimuma imat će vrijednost 0, a iznad maksimuma vrijednost 1 (URL 7).

S druge strane metoda *Fuzzy Overlay* dozvoljava analizu mogućnosti nekog fenomena koji pripada većem nizu u višekriterijskoj analizi. *Fuzzy Overlay* definira kojem nizu pripada taj fenomen, ali i analizira odnose između članova različitih nizova. Tipovi *Fuzzy Overlay* metode su *Fuzzy And*, *Fuzzy Or*, *Fuzzy Product* i *Fuzzy Sum* (URL 7).

##### 7.6.1.2. Određivanje težine svakog faktora



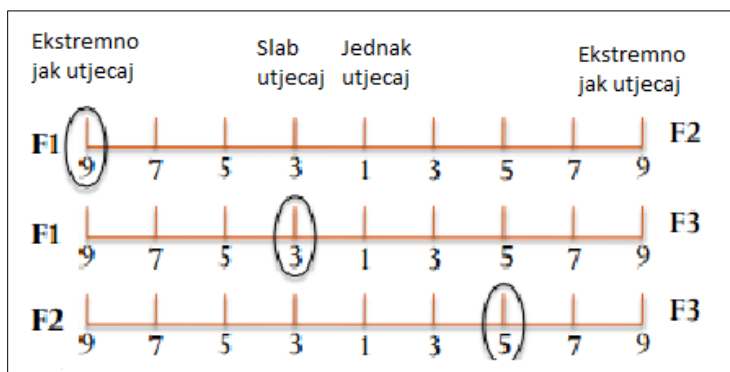
Postoji nekoliko načina za određivanje težine odnosno ocjene svakog faktora. Prvi način je preko ranga. Na primjer, faktori imaju rang od 1 do 3 gdje je broj 1 najmanje važan faktor, a 3 najvažniji faktor. Drugi način je uz pomoć ocjena gdje faktor 1 ima najmanji postotak kao najmanje važan faktor, a faktor 3 ima najveći postotak kao najvažniji faktor. AHP (Analytical Hierarchy Process) je jedan od načina kako se uspješno određuje težina faktora. Spada u najpoznatije metode za odlučivanje kada se odluka temelji na više atributa koji se koriste kao kriteriji. Rješavanje složenih problema pomoću ove metode temelji se na njihovoj dekompoziciji u hijerarhijsku strukturu čiji elementi su cilj, kriteriji i alternative (Slika 10). AHP metoda temelji se na matematičkom modelu pomoću kojega se računaju prioriteta (težinski faktori) elemenata koji sudjeluju u analizi (Estoque, 2011).



Slika 10. AHP hijerarhija

Izvor: prema URL 6

Pravi se matrica gdje je svaki kriteriji uspoređen s drugim kriterijem s obzirom na važnost i to na skali od 1 do 9. Postoje četiri koraka određivanja težina faktora uz pomoć AHP metode (Estoque, 2011). Prvo se razvije se hijerarhijski model problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i kriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela. Zatim se uspoređuje važnost, odnosno utjecaja svakog faktora (F1, F2, F3) (Slika 11). Drugi korak je ispunjavanje matrice (Tablica 1). Pomoću matrice međusobno se uspoređuju elementi te se definira koliki utjecaj jedan element ima u odnosu na drugi, odnosno koliko puta je faktor 1 važniji od faktora 2 (i obrnuto). Treći korak je normalizacija i određivanje težinskog faktora (Tablica 2), te na kraju izračunavanje stope konzistentnosti (Estoque, 2011).



Slika 11. Usporedba faktora

Izvor: Prema (Estoque, 2011)

Tablica 1. Ispunjavanje matrice

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
F <sub>1</sub>	1	9	3
F <sub>2</sub>	1/9	1	1/5
F <sub>3</sub>	1/3	5	1
Σ	1.444	150.000	42.000

Izvor: prema (Estoque, 2011)

Tablica 2. Normalizacija i određivanje težinskog faktora

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Tež. faktor
F <sub>1</sub>	0,6923	0,6	0,7143	0,6689
F <sub>2</sub>	0,0769	0,0667	0,0476	0,0637
F <sub>3</sub>	0,2302	0,3333	0,2674	0,2674

Izvor: prema (Estoque, 2011)

### 7.6.1.3. Grupiranje kriterija

Grupiranje kriterija se koristi uz pomoć metoda poput *Weighted Sum*, *Weighted Linear* i *Weighted Overlay*. *Weighted Overlay* je jedan od najkorištenijih pristupa za analizu kako bi riješio višekriterijske probleme poput odabira lokacije i prikladnosti modela. U ovoj analizi prate se općeniti koraci. Prvenstveno se mora odrediti problem, napraviti podmodele te identificirati unos (URL 7). *Weighted Sum* alat pruža mogućnosti mjerenja i kombiniranje više unosa kako bi se provela integrirana analiza. Ovaj alat je vrlo sličan *Weighted Overlay* alatu i oni se lako mogu kombinirati. No, postoje dvije glavne razlike između ovih alata, odnosno *Weighted Sum* alat ne skalira reklasificirane vrijednosti natrag na skalu procjene te za razliku od *Weighted Overlaya* ne zahtijeva cijele brojeve (URL 7).

## 8. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA ZA POTREBE VATROGASTVA NA PRIMJERU ŠIBENSKO-KNINSKE ŽUPANIJE

Pri modeliranju rizika od požara mogu se koristiti različite grupe parametara, a najčešće korišteni su klima (temperatura, vlažnost, vjetar), reljef (orijentiranosti i nagib padine), povijest požara (informacije o lokaciji i učestalosti), antropogeni čimbenici (udaljenost naselja i cesta) te gorivi materijal (vegetacija), (Chuvieco i Salas, 1996, Patah et al 2001, Roland i dr, 2014). Svaki od navedenih modela nastaje kombiniranjem više kriterija unutar korištenih grupa parametara. Jedna od korištenih metoda za određivanje težinskih koeficijenata ovih pod indeksa je AHP. Dakle svakoj varijabli dodjeljuju se odgovarajući težinski koeficijenti koji ukazuju na njezin značaj u potencijalom nastanku požara. Nakon reklasifikacije vrijednosti navedenih varijabli svaka od klasa skalira se prema određenim mjerama (primjerice od 1 do 6) koje ukazuju na rizik nastanka požara unutar raspona vrijednosti te varijable.

Među klimatskim elementima u pogledu nastanka i razvoja požara, najvažniji su temperatura i vlažnost zraka. Što je temperatura viša, to je jače isparavanje, odnosno isušivanje zemljišta, a suho tlo i vegetacija pogoduje nastanku i razvoju požara. Relativna vlažnost zraka ima sličan efekt kao i temperatura, odnosno što je niža vlažnost veća je opasnost od požara. Osim temperature i vlage iznimno je važan vjetar, no brzina i smjer vjetra ne uvjetuju nastanak već su presudni u načinu i brzini širenja požara te uvelike definiraju način gašenja požara.

Elementi reljefa kao što su nagib i ekspozicija padine također utječu na rizik od požara. Primjerice prisojna strana (jug i jugozapad) padine ima veći rizik od požara nego osojna strana jer prima veću količinu sunčeve svjetlosti, a to pogoduje razvoju kserofitne vegetacije, koja pogoduje nastanku požara (Netolicki, 2012.). Prilikom analize ekspozicije padine najveći ponder dodjeljuje se južnim padinama. Nagib padine, kao druga važna komponenta reljefa utječe na brzinu širenja požara. Što je strmija padina, to se požar brže razvija. Na nagnutom terenu vatra brže napreduje uz padinu, jer se topli zrak penje i pred sobom isušuje gorivi materijal (Netolicki, 2012). Pod vegetacijom podrazumijevamo skup biljnih zajednica koje se dijele na prirodne i kultivirane. Prva skupina je biljni pokrov nastao bez posredovanja čovjeka, dok kultivirani čini biljni pokrov nastao pod antropogenim utjecajem. U prirodni biljni pokrov ubrajaju se primjerice šume, šikare i travnjaci, dok kultivirani čine vinogradi, maslinici, voćnjaci, ratarske kulture i dr.

Neki tipovi vegetacije imaju izrazito visok rizik od požara dok neki imaju nizak ili ga gotovo uopće nemaju. Od šumskih zajednica primorski tip šume u pravilu je lakše zapaljiv od kontinentalnih šuma, jer osim sami klimatskih uvjeta u kojima raste sadrže i obilje smole ili

eteričnih ulja. Šumski ekosustavi četinjača i vazdazeleni šuma smatraju se tipičnom pirofilnom vegetacijom (Bakšetić i dr. 2015). Osim šumskih zajednica po zapaljivosti se ističe raslinje i makija koji su tipični oblici vegetacije na Sredozemlju.

Kada govorimo o uzrocima nastanka požara, za 60-70 % požara uzrok nastanka ostaje nepoznat. Od poznatih uzroka, samo je 10% nastalo prirodno (udar groma), a 90% je posljedica slučajnog ili namjernog djelovanja čovjeka (nepažnja, paljenje poljoprivrednog otpada, namjerno paljenje, promet, električni vodovi, mine i ostalo) (Bakšetić i dr., 2015). Prilikom analize antropogenih čimbenika nastanka požara izdvajaju se udaljenost od prometnica i naselja.

### **8.1. Parametri višekriterijske analize za modeliranje rizika od izbijanja požara**

Pri analizi rizika od požara na prostoru Šibensko-kninske županije od navedenih skupina utjecaja u obzir bit će uzet reljef (nagib, ekspozicija, nadmorska visina), vegetacija te antropogeni čimbenici (udaljenost od prometnica te udaljenost od naselja). Obzirom da je u radu naglasak na riziku od požara na prostoru NP Krka, klimatski faktori neće se koristiti pri analizi. Odabrani parametri obrađeni u radu klasificirat će se po stupnju ugroženosti na skali od 1 do 6 pri čemu je jedan najmanja opasnost od izbijanja požara, a šest najveća (Tablica 3) (Sharma i dr. 2012).

Tablica 3 . Kategorije rizika od požara

Rizik od požara	
1	Jako nizak
2	Nizak
3	Umjeren
4	Umjereno visok
5	Visok
6	Jako visok

Izvor: (Sharma i dr., 2012)

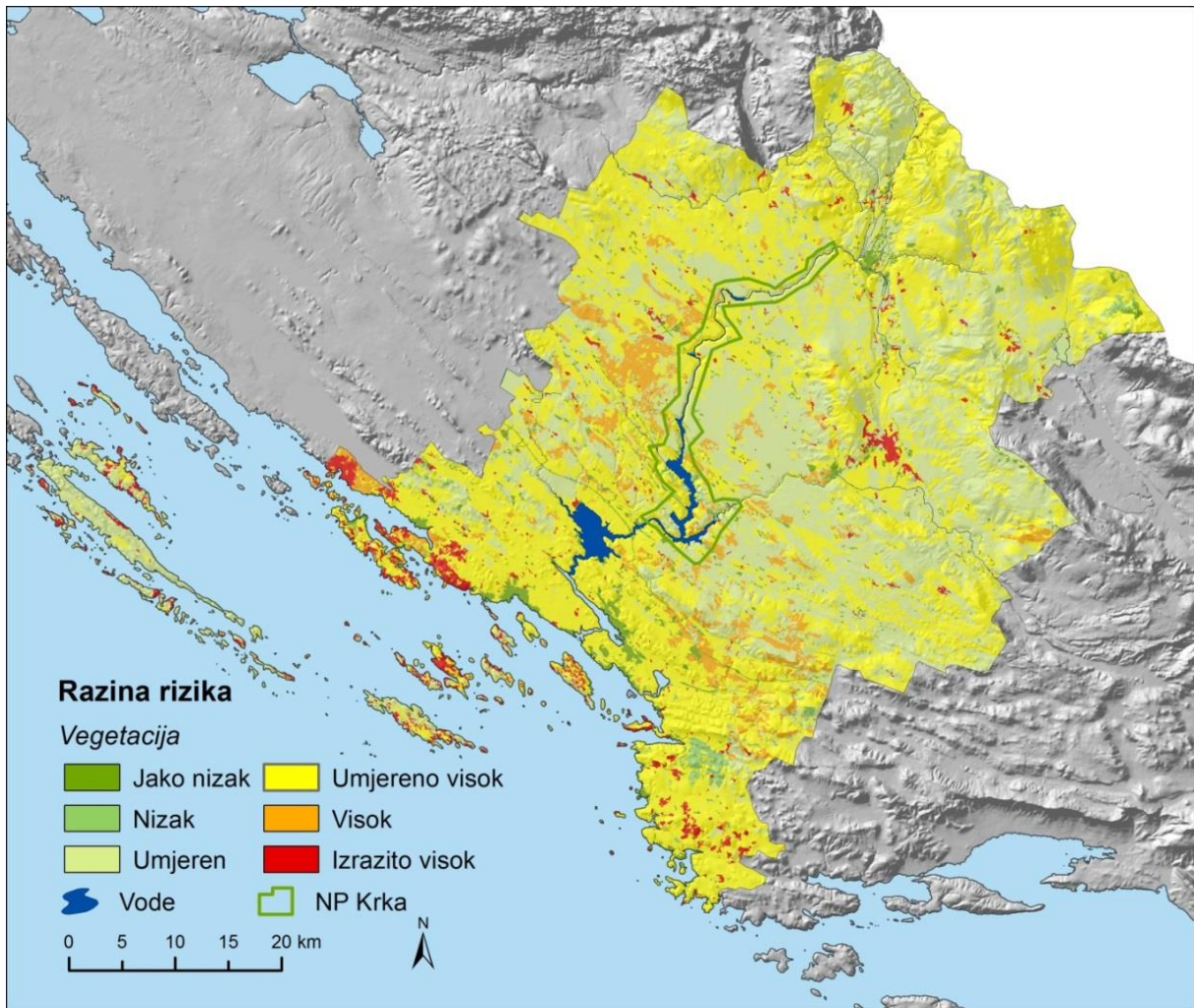
#### 8.1.1. Vegetacija

Na području Šibensko-kninske županije po zapaljivosti razlikuju se različiti tipovi vegetacije. Tako hidrofilne biljke po svojoj prirodi spadaju u nezapaljivu vegetaciju te im se dodjeljuje najmanji težinski koeficijent. Neobrasle i slabo obrasle površine te već opožarena područja nisko su zapaljiva. Umjerene zapaljivosti su segmenti šuma s višim NDVI indeksom, dakle to su šume s većim udjelom klorofila, koji ukazuje na zdravlje i zelenilo vegetacije. Što je vegetacija zdravija i zelenija to je manji rizik od požara jer je veća vlažnost. U ovu skupinu također spadaju relativno vlažne livade riječnih dolina, voćnjaci i kamenjarski pašnjaci.

Umjereno visoke zapaljivosti su travnjaci, maslinici, vinogradi te šume sa srednjim NDVI indeksom. U kategoriju visoke zapaljivosti svrstani su suhi travnjaci, korovna vegetacija te od mediteranske šikare samo smrika. Smrika je specifična po gorivosti u odnosu na ostale vrste mediteranske šikare. Naime ona gori samo dok je plamen na njoj, ali čim dotok vatre prestaje ona se prirodno gasi. U najugroženiju skupinu spadaju zapuštene poljoprivredne površine, mediteranska šikara (bušici ružmarina, dračici, brnistra itd.) te šumski tipovi s najnižim NDVI-om (Tablica 4).

Tablica 4. Kategorije vegetacije prema ugroženosti od požara

Klasa	Vegetacijski tip	Površina (ha)	%
1	Površinske kopnene vode i biljke stajaćica	12488	4,19
2	Neobrasle i slabo obrasle kopnene površine (kamenjar, šumska i nešumska opožarena područja, točila, oranice, paprat)	3486	1,17
3	Kultivirane površine, pojedini tipovi šuma (najviši NDVI indeks), kamenjarski pašnjaci, livade riječnih dolina, voćnjaci	113711	38,15
4	Travnjaci, šume (srednji NDVI), maslinici, vinogradi	145362	48,77
5	Mediteranska šikara (smrika) , korovna vegetacija, suhi travnjaci	14939	5,01
6	Zapuštene poljoprivredne površine, mediteranska šikara (bušici ružmarina, dračici, brnistra), pojedine vrste šuma (najniži NDVI)	8095	2,72



Slika 12. Vegetacija kao kriterij ugroženosti od požara

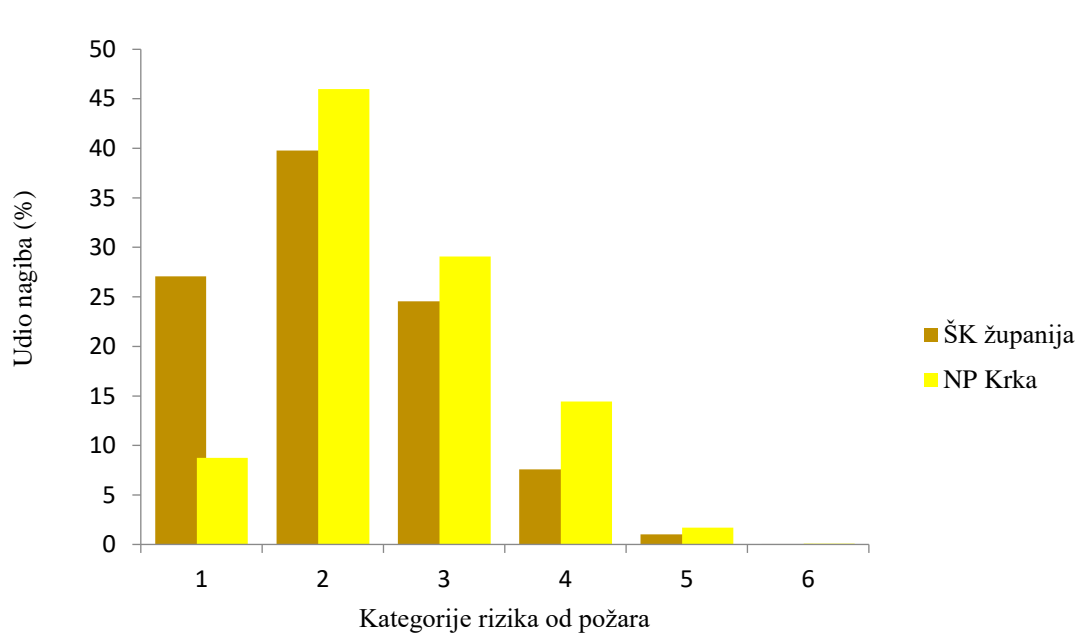
### 8.1.2. Nagib

Nagib je klasificiran također u šest kategorija rizičnosti. Što je nagib viši to je veći i rizik od požara (Tablica 5). Na prostoru Šibensko-kninske županije najraširenija skupina nagiba je od 10 - 20° odnosno kategorija niskog rizika od požara je zastupljena na približno 40% površine. Sljedeća najraširenija skupina nagiba (27% površine) je kategorija jako niskog rizika od požara a obuhvaća nagibe manje od 10° (Slika 13). Kategorija visokog i jako visokog rizika od požara zastupljene su tek na pojedinim dijelovima županija, najviše na prostoru NP Krka u samom kanjonu Krke te podnožju Dinare, odnosno na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu županije, uz granicu s BiH. Ove dvije kategorije zajedno obuhvaćaju nešto više od 1,5 % površine.

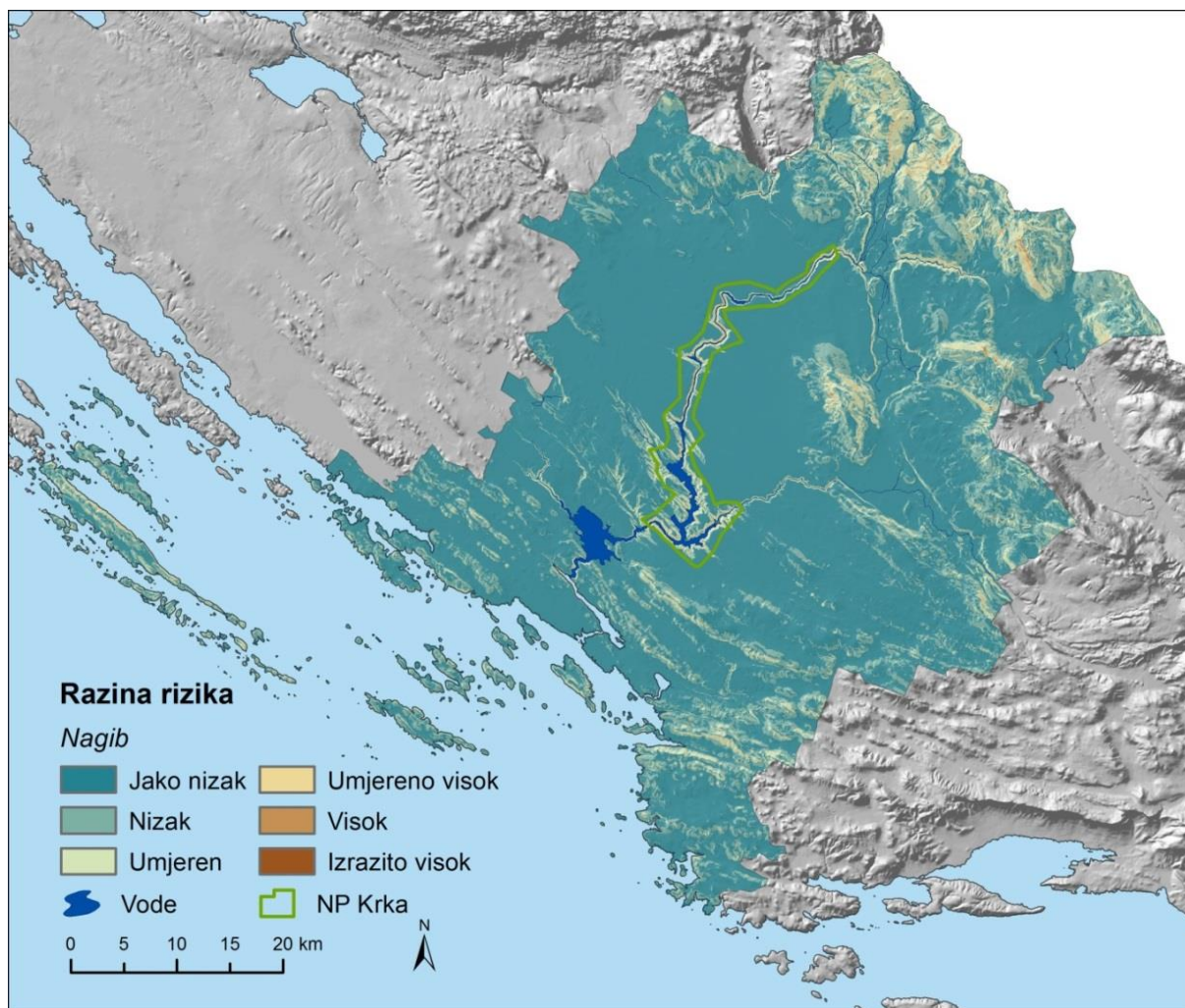
Tablica 5. Kategorije nagiba prema razini rizika od požara

Nagib (°)	Rizik
0-10	1 - jako nizak
10 - 20	2 - nizak
20 - 30	3 - umjeren
30 - 40	4 - umjeren visok
40 - 50	5 - visok
50 - 60	6 - jako visok

Izvor: (Sharma i dr., 2012)



Slika 13. Usporedba zastupljenosti nagiba prema klasama na području NP Krka i ŠK županije



Slika 14. Nagib kao kriterij ugroženosti od požara

### 8.1.3. Ekspozicija

Ekspozicija padina u smjeru najvećeg nagiba predstavlja njezinu orijentaciju s obzirom na strane svijeta. Pri tome se kut određuje najčešće od pravca sjevera u smjeru kazaljke na satu (Pahernik, 2007). Prilikom analize ekspozicije padine sjeverne i sjeveroistočne padine spadaju u kategoriju najmanjeg rizika od požara. Sjeverozapadne i zapadne imaju nizak rizik od požara. Istočne padine su umjerenog rizika od požara, a jugoistočne umjereno visokog rizika. Visoki rizik imaju jugoistočne padine, dok se južna ekspozicija smatra najrizičnijom po pitanju izbijanja požara (Tablica 6).

Tablica 6. Kategorije ekspozicije prema razini rizika od požara

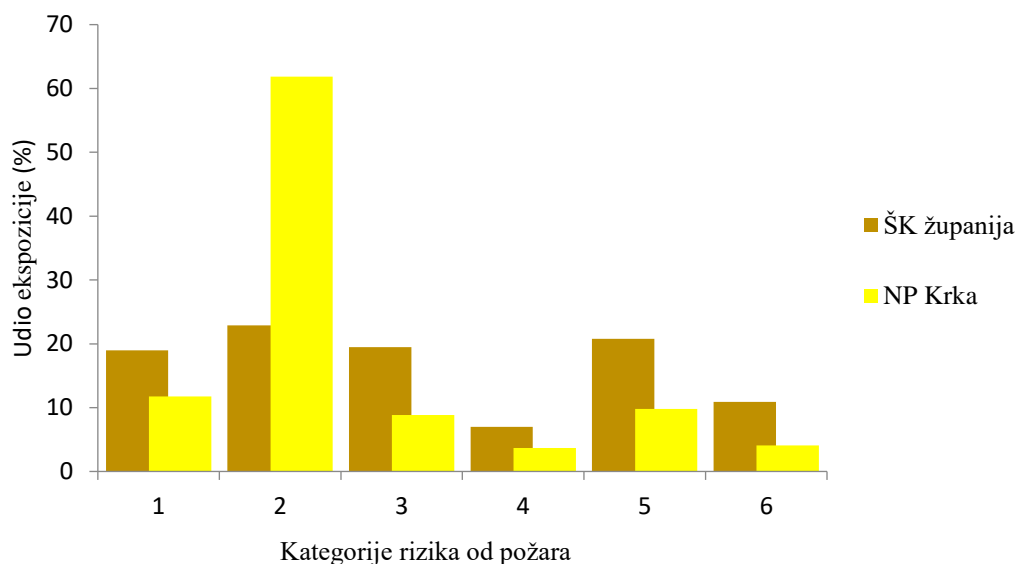
Ekspozicija padine	Rizik
Jug	6 - jako visok
Jugozapad	5 - visok
Jugoistok	4 - umjereno visok
Istok	3 - umjeren



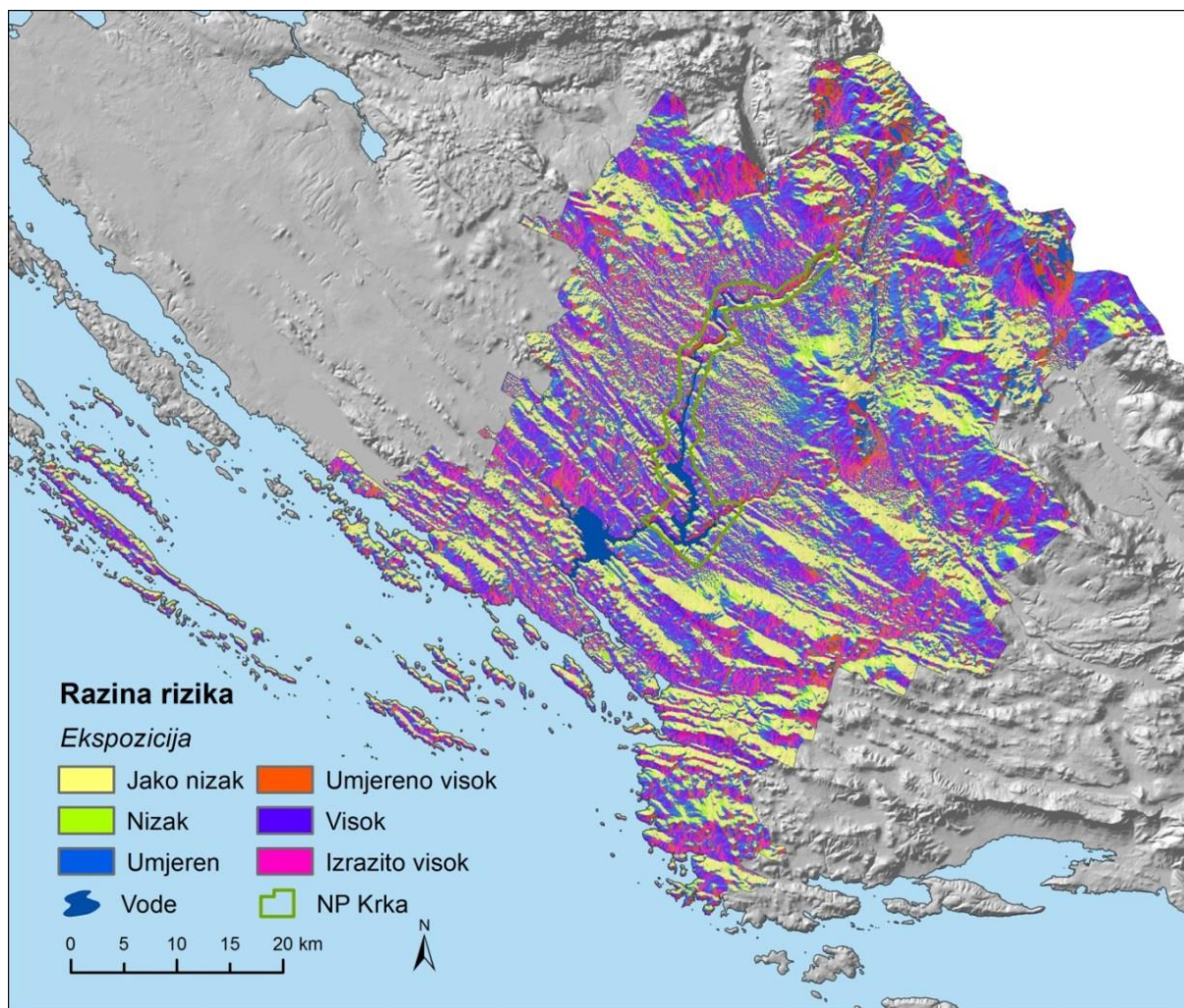
Zapad	2 - nizak
Sjeverozapad	2 - nizak
Sjever	1 - jako nizak
Sjeveroistok	1 - jako nizak

Izvor: (Sharma i dr., 2012)

Na prostoru Šibensko-kninske županije najraširenija je klasa niskog rizika od požara, odnosno dominantni smjer pružanja padine je zapadni i sjeverozapadni. Iduća najraširenija klasa je visokog rizika od 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% (Slika 15). Dakle Šibensko-kninska županija po pitanju orijentacije padine ne spada u rizičnu skupinu.



Slika 15. Usporedba zastupljenosti klasa ekspozicije na području ŠK županije i NP Krka



Slika 16. Ekspozicija kao kriterij ugroženosti od požara

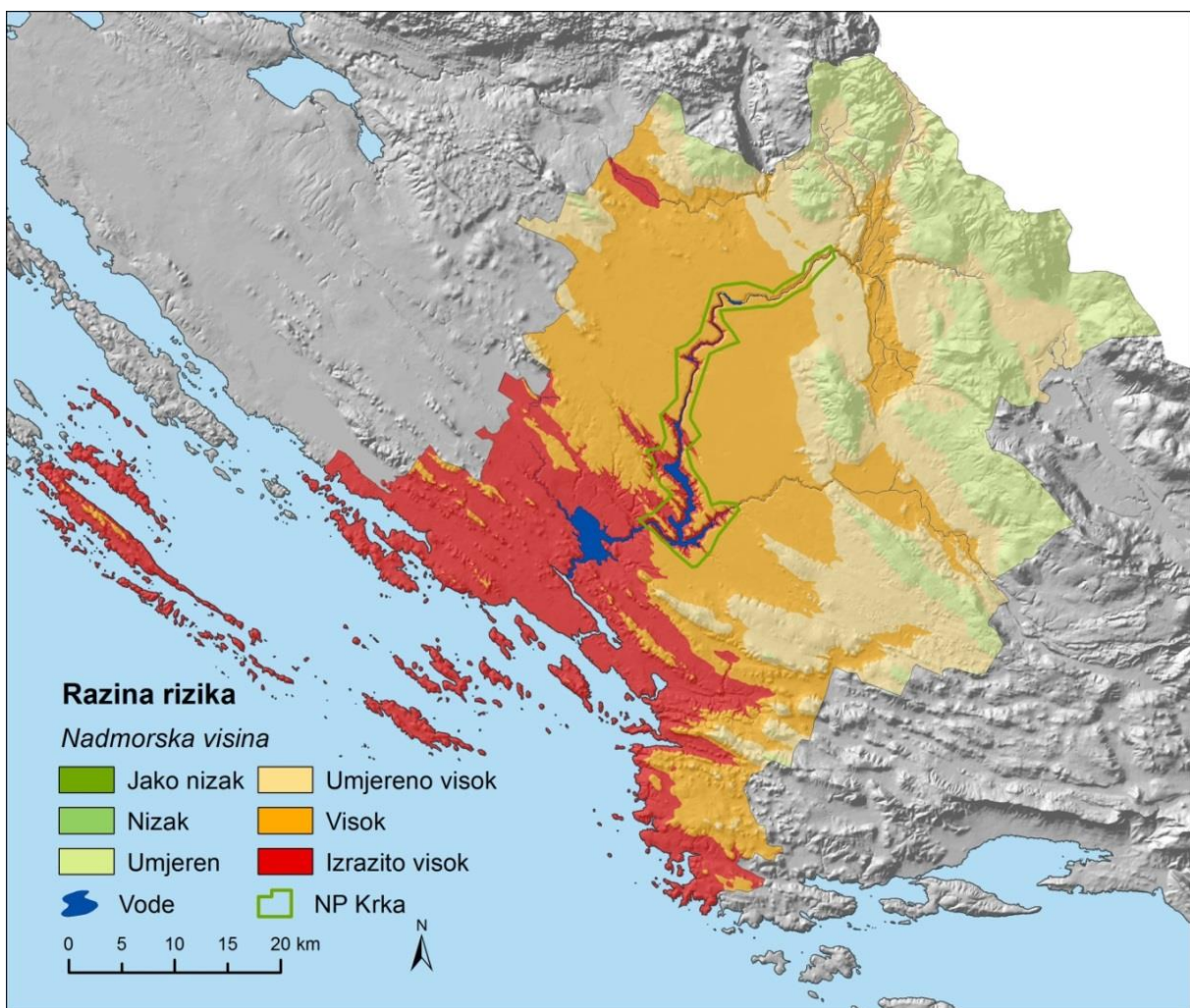
#### 8.1.4. Nadmorska visina

Kategorije nadmorske visine prilagođene su dimenzijama Šibensko-kninske županije te su određene metodom jednakih intervala. Nadmorska visina je klasificirana tako da prva najniža visina kategorizacije iznosi 200 metara i predstavlja jako visok rizik od požara. Kategorija od 1000 i više metara predstavlja jako nizak rizik od požara (Tablica 7). Najzastupljenijom kategorijom se pokazala visokog rizika od požara koja obuhvaća unutrašnjost županije, točnije područje općine Ervenik, Kistanje, veći dio općine Drniš i Promina te manje segmente Grada Šibenika, Skradina i općine Biskupije. Iduća najzastupljenija klasa je jako visokog rizika, a njome je obuhvaćen obalni, priobalni pojas te otoci. 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.

Tablica 7. Kategorije nadmorske visine prema razini rizika od požara

Nadmorska visina (m)	Kategorija
0 - 200	6 - jako visok rizik
200 - 400	5 - visok
400 - 600	4 - umjereno visok
600 - 800	3 - umjeren
800 - 1000	2 - nizak
> 1000	1 - jako nizak

Izvor: (Sharma i dr., 2012)



Slika 17. Nadmorska visina kao kriterij ugroženosti od požara

#### 8.1.5. Udaljenost od naselja i cesta

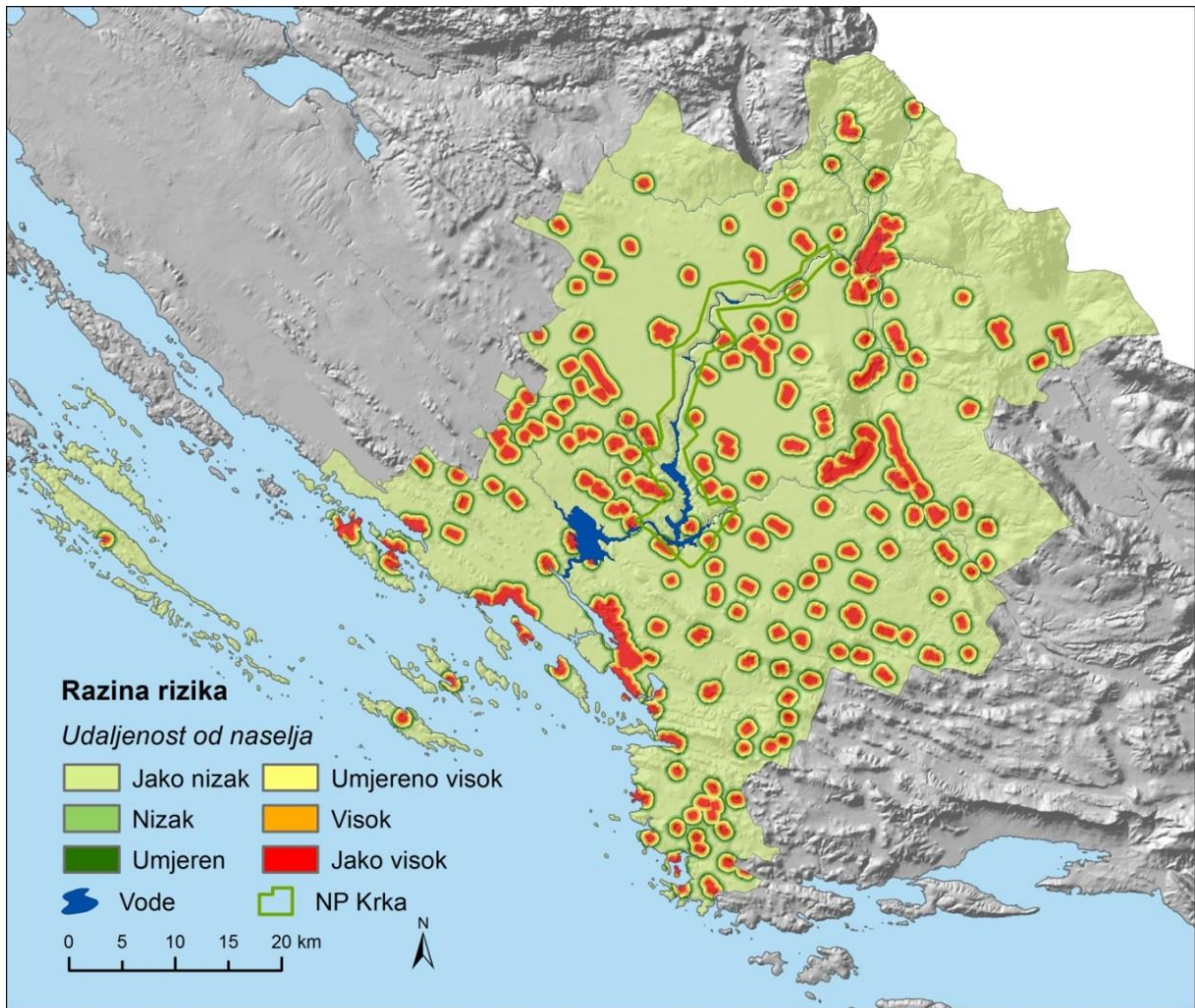
Udaljenost od naselja i cesta za razliku od prethodno analiziranih spadaju u antropogene parametre. Kao što je već rečeno najveći broj požara nastaje upravo kao posljedica antropogenog utjecaja. Udaljenost od naselja i cesta metodom jednakih intervala razvrstana je u šest kategorija rizika od požara. Uzet je interval od 200 metara, pri čemu je najveća kategorija ugroženosti najbliža naseljima, odnosno cestama.

Tablica 8. Kategorije udaljenosti od naselja i cesta prema razini rizika od požara

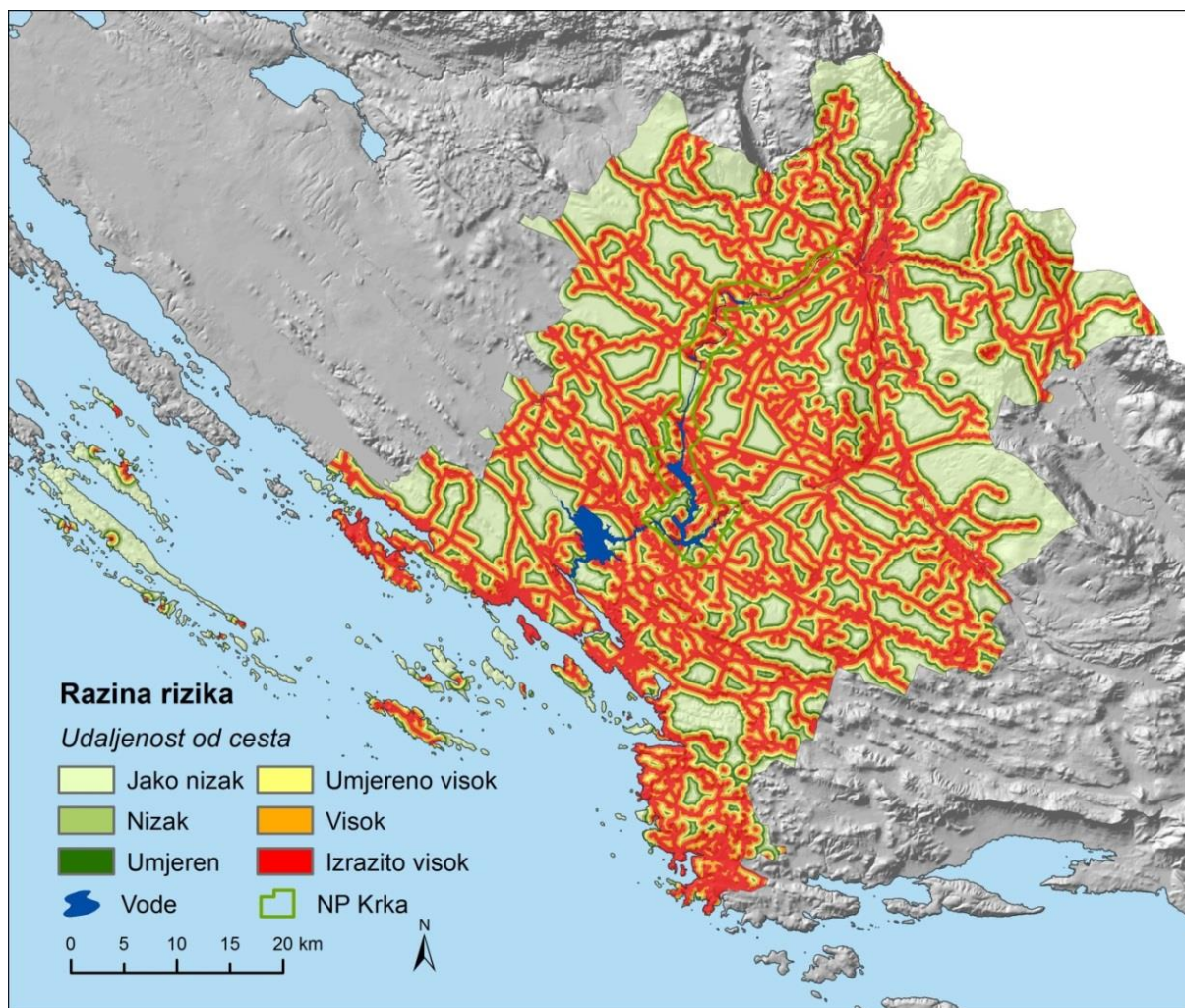
Udaljenost od ceste i naselja (m)	Rizik
0-200	6 - jako visok rizik
200-400	5 - visok
400-600	4 - umjereno visok
600-800	3 - umjeren
800-1000	2 - nizak
1000-1200	1 - jako nizak

Izvor: (Sharma i dr., 2012)

Dakle s udaljenosti od naselja i cesta opada i rizik od požara (Tablica 8). Prema udaljenosti od naselja, većina Šibensko-kninske županije (66%) spada u zonu jako niskog rizika od požara. Kategorija 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 površinom spada u kategoriju jako niskog rizika. Analiza udaljenosti od cesta pokazala je da su najraširenije kategorije na području županije kategorija jako visokog rizika (30%), jako niskog rizika (20%) te niskog rizika (19%). Prostor nacionalnog parka s obzirom na ceste spada najvećim dijelom u prostor jako visokog (40%) i visokog rizika (25%). Najmanje je zastupljena kategorija jako niskog rizika.



Slika 18. Udaljenost od naselja kao kriterij ugroženosti od požara



Slika 19. Udaljenost od cesta kao kriterij ugroženosti od požara

## 8.2. Rezultati višekriterijske analize

Nakon analize svakog pojedinačnog parametra koji utječe na rizik od požara, potrebno je svim parametrima odrediti stupanj utjecaja na nastanak požara te ih staviti u međusobni odnos (Tablica 9). Veličina težinskog koeficijenta ukazuje na razinu utjecaja parametra u nastanku požara, dakle što je on veći to je i veća uloga parametra u nastanku požara. Napravljene su dvije kategorizacije parametara te je uspoređen njihov izlazni rezultat.

Tablica 9. Međusobni utjecaj parametara višekriterijske analize

Međusobni utjecaj parametara	
1	Parametri su jednako važni
3	Parametar je blago važniji od drugog
5	Parametar je značajno važniji od drugog
7	Parametar izrazito značajniji od drugog
9	Parametar je apsolutno važniji od drugog
2,4,6,8	Intervalne vrijednosti između susjednih parametara

Izvor: A.N. Paralikas and A.I. Lygeros

Prva kategorizacija prilagođena je prostoru Šibensko-kninske županije dok je drugi model izvorno namijenjen procijeni ugroženosti tropske šume na sjeveru Indije. Prema prvoj kategorizaciji vegetacija, odnosno gorivi materijal smatra se primarnim parametrom nastanka požara te joj je dodijeljen najveći težinski koeficijent (Tablica 10). Potom slijede antropogeni elementi (udaljenost od naselja i cesta), a razlog tome je pretpostavka da većina požara u Šibensko-kninskoj županiji nastaje kao posljedica utjecaja čovjeka (nesreća, piromanija) (u.p. Milošević, 2017). Također slično su potvrdili rezultati istraživanja Netolicki i suradnika (2012) koji ukazuju na to da su antropogeni čimbenici najutjecajnije pri nastanku požara. Od ostalih elemenata Ekspozicija ima visok utjecaj na nastanak požara jer direktno utječe na količinu vlage u tlu. Najmanji koeficijenti dodijeljeni su nagibu i nadmorskoj visini. Nagib kao parametar ima veći utjecaj pri širenju požara nego pri samom nastanku, dok nadmorska visina na primjeru istraživane županije ima minimalan utjecaj. Također osim vrednovanja težinskog koeficijenta važno je usporediti svaki parametar, koliko je važan u odnosu na ostale. Tako je primjerice vegetacija u odnosu na nadmorsku visinu u potpunosti važnija.

Tablica 10. AHP usporedba parametara – model 1

Razina rizika	f1/f2	Nagib	Ekspozicija	Nadmorska visina	Vegetacija	Udaljenost od cesta	Udaljenost od naselja
2	Nagib	1	0,167	5	0,111	0,143	0,167
4	Ekspozicija	6	1	6	0,2	0,25	0,25
1	Nadmorska visina	0,2	0,167	1	0,111	0,125	0,143
6	Vegetacija	9	5	9	1	3	4
5	Udaljenost od cesta	7	4	8	0,33	1	2
4	Udaljenost od naselja	6	4	7	0,25	0,5	1

Izvor: (u.p. Milošević, 2017).

Prema drugoj kategorizaciji vegetacija također ima najveći utjecaj pri nastanku požara, nadmorska visina se nalazi među najniže procijenjenim parametrima (Tablica 11). Međutim glavna razlika su antropogeni elementi koji se u ovom slučaju smatraju minimalno važnima pri nastanku požara. Čovjek nije uzet kao toliko bitan faktor, već se požari smatraju prvenstveno prirodno determiniranim. Antropogeni faktori u ovom slučaju imaju jednak koeficijent kao i nadmorska visina.

Tablica 11. AHP usporedba parametara - model 2

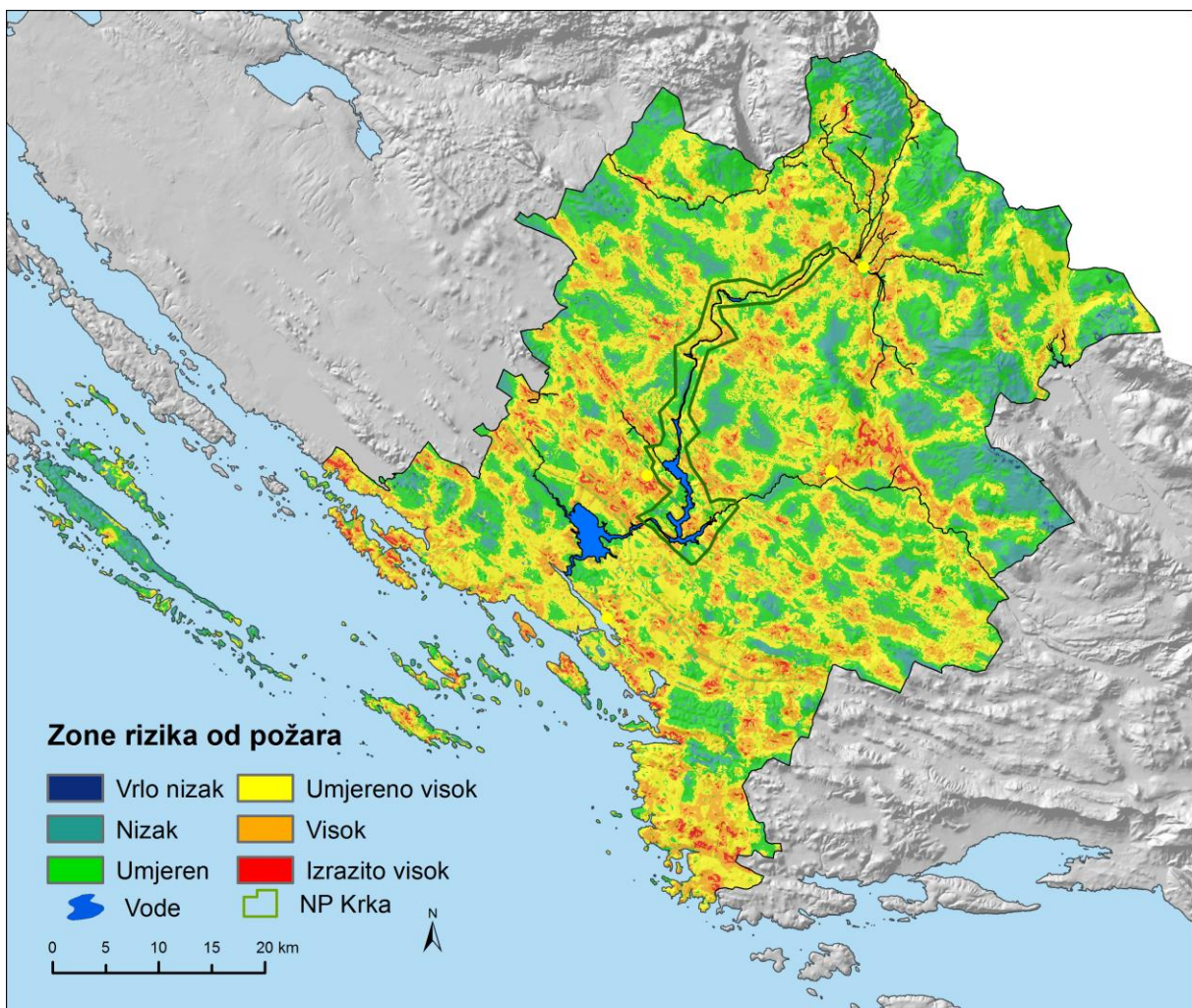
Razina rizika	f1/f2	Nagib	Ekspozicija	Nadmorska visina	Vegetacija	Udaljenost od cesta	Udaljenost od naselja
2	Nagib	1	0,5	3	0,333	2	2
3	Ekspozicija	2	1	4	0,5	3	3
1	Nadmorska visina	0,333	0,25	1	0,2	0,5	0,5
4	Vegetacija	3	2	5	1	4	4
1	Udaljenost od cesta	0,5	0,333	2	0,25	1	1
1	Udaljenost od naselja	0,5	0,333	2	0,25	1	1

Izvor: (Sharma i dr., 2012)



### 8.2.1. Model 1

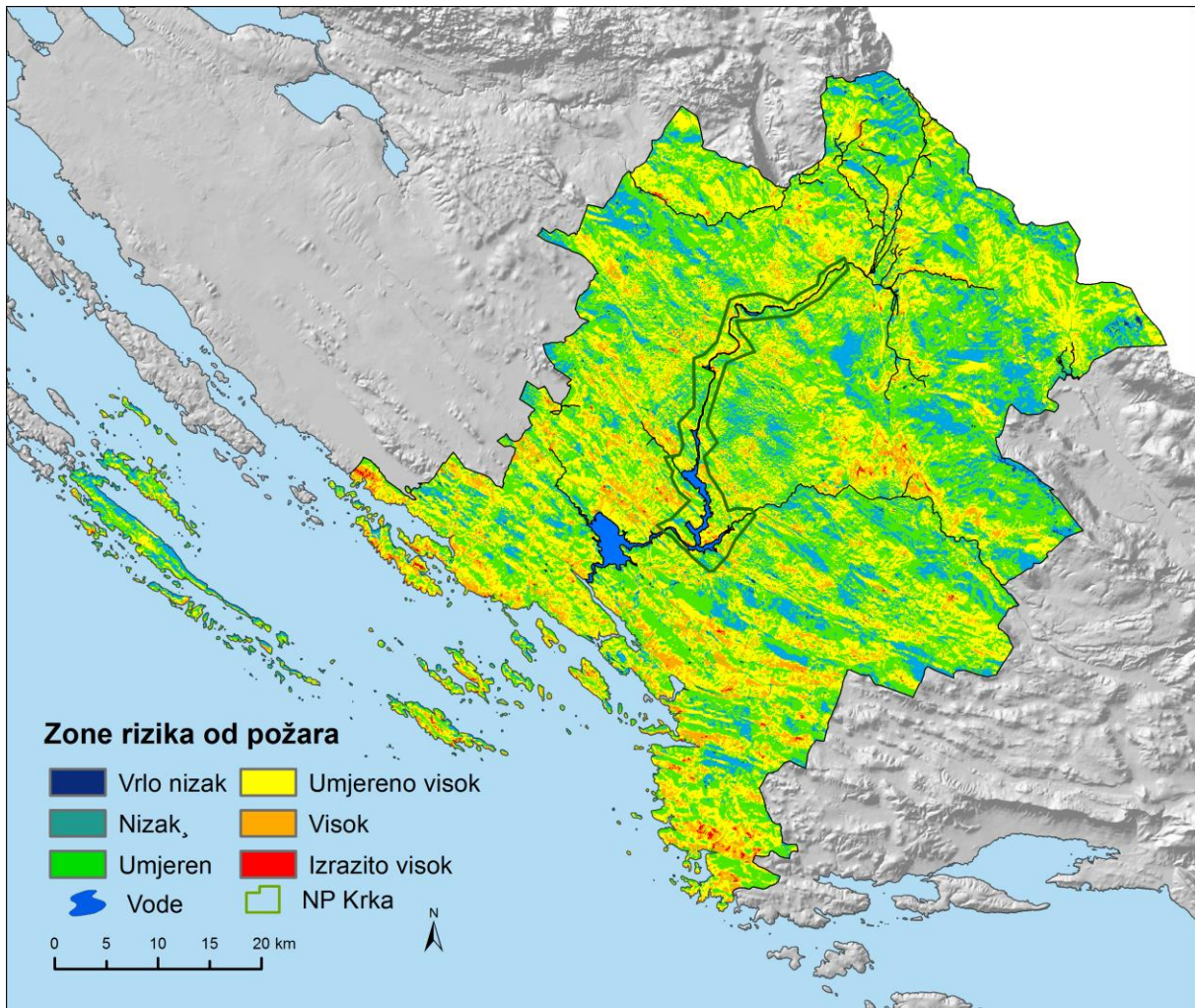
Prema prvoj kategorizaciji najveći udio površine Šibensko-kninske županije (35,8%) spada u kategoriju umjerenog rizika od požara. Sljedeća najraširenija klasa je umjereno visokog rizika od požara (33,5%). Visok i izrazito visok rizik prevladava na 10,3% površine, dok kategorije niskog i jakog niskog rizika zajedno obuhvaćaju 20,4% površine. Zone najvećeg rizika su na prostoru općine Drniš, u neposrednoj blizini grada Drniša te naselja Tepljuh, Miočić, Biočić i dr. Iduća najugroženija općina je Skradin. Zone najvećeg rizika obuhvaćaju naselja Sonković, Gračac, Bićine, Gorice, Ždrapanj, Rupe. Kroz dijelove obje navedene općine proteže se NP Krka. Zone najvećeg rizika na prostoru NP zastupljene su u minimalnoj mjeri, a najzastupljenija je zona umjerenog rizika od požara.



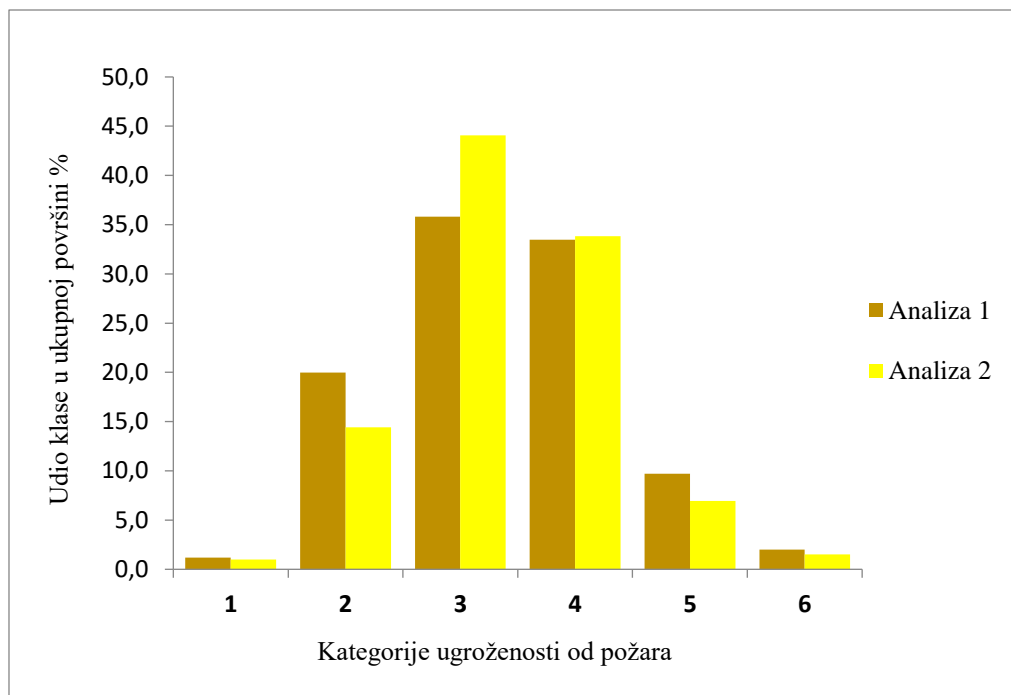
Slika 20. Zone rizika od požara na području Šibensko-kninske županije – model 1

### 8.2.2. Model 2

Rezultat druge analize isto kao i kod prve analize nije pokazao isključivu dominantnu zastupljenost niti jedne kategorije ugroženosti. U ovom slučaju klasa umjerenog rizika je isto kao i u prethodnoj analizi najraširenija na prostoru županije (44%). Sljedeća najraširenija je klasa umjeren-visok rizika od požara (35,8%). Obe analize pokazuju da su klase koje ukazuju na ekstremno visok ili ekstremno nizak rizik od požara zastupljene u najmanjoj mjeri. Klase visokog i jako visokog rizika od požara su zastupljene u manjoj mjeri nego u prethodnoj analizi te zajedno obuhvaćaju čak manje od 8% površine županije. Klasa najveće ugroženosti ističe se na prostoru općine Drniš, Skradin, Šibenik i Tisno. Na prostoru NP Krka također je najzastupljenija klasa umjerene ugroženosti od požara, dok mjesta najveće ugroženosti zauzimaju površinu manju od 1% ukupne površine nacionalnog parka.



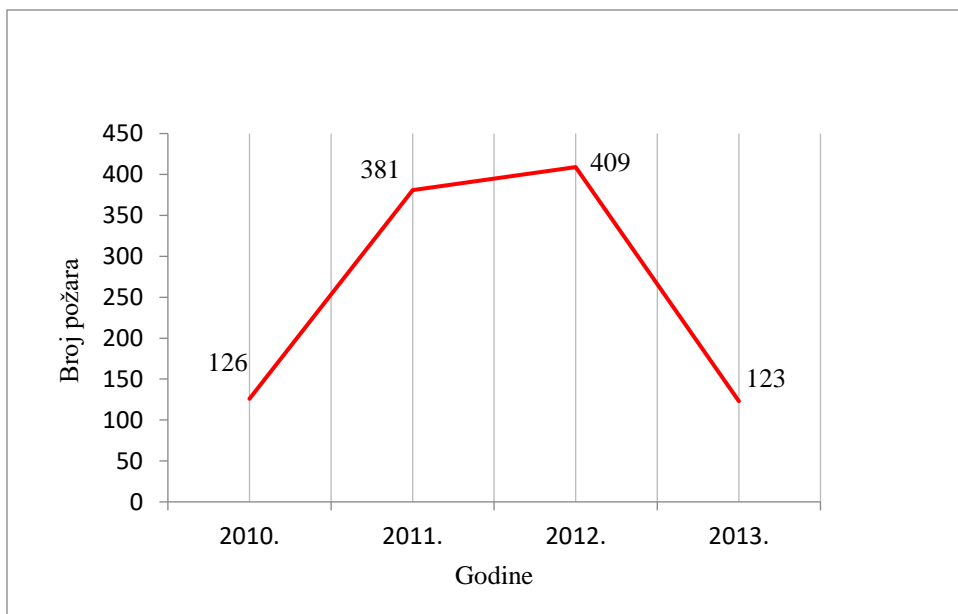
Slika 21. Zone rizika od požara na području Šibensko-kninske županije – model 2



Slika 22. Usporedba rezultata višekriterijske analize 1 i 2

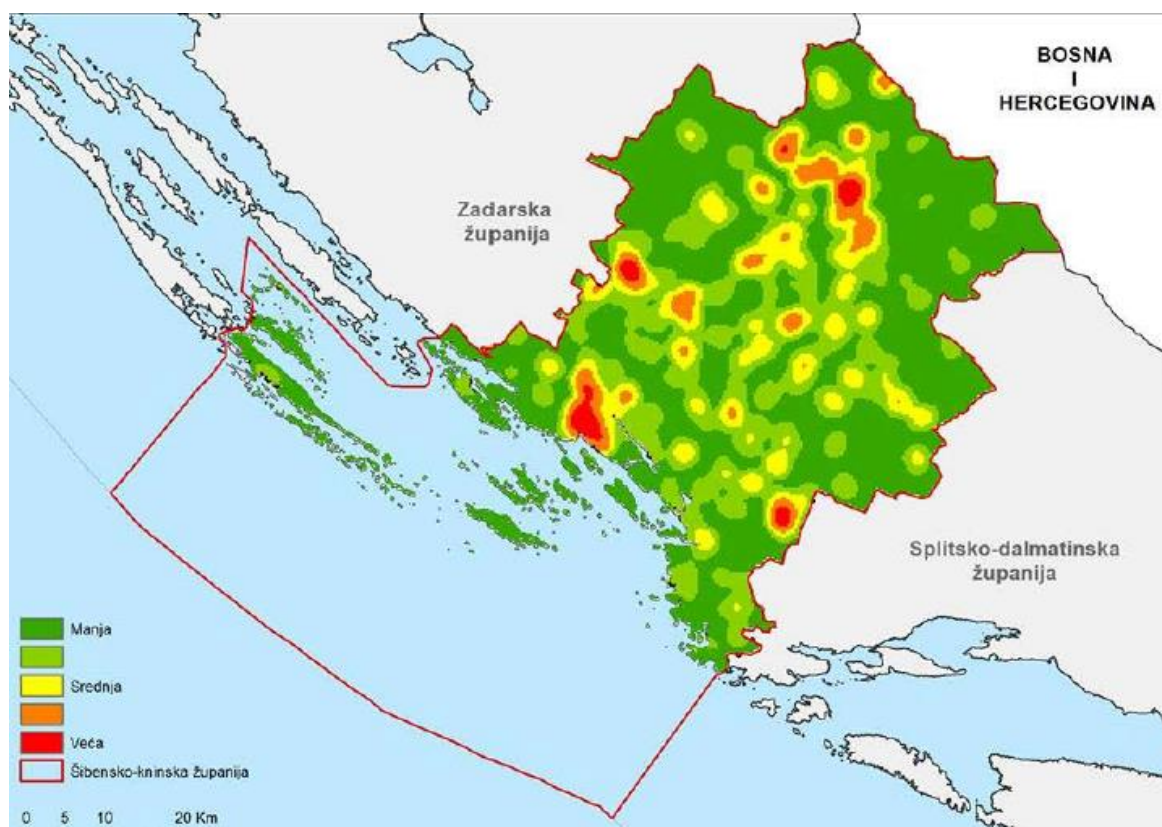
### 8.3. Provjera modela

Kako bi se provjerila kvaliteta izlaznih rezultata (model 1 i model 2) AHP analize potrebno je napraviti usporedbu s rezultatima analize dosadašnje gustoće požara na istom prostoru. Analize gustoće požara Šibensko-kninske županije od strane autora Držaić i Kavran (2014) pokazala je da postoje zone visoke (crvena boja) i niske koncentracije požara (zeleno boja) (Slika 25). Analiza je napravljena za razdoblje od 2010. do 2013. godine u kojem je zabilježeno ukupno 1039 slučajeva izbijanja požara (Slika 24). Od navedenog broja najviše požara je izbio u zaleđu Vodica i Šibenika, okolici Knina te okolici Žažvića. Kao ključni čimbenici izbijanja požara najviše se ističu velika koncentracija stanovništva tijekom ljetne sezone, blizina cesta i način iskorištavanja zemljišta (Držaić i Kavran, 2014).



Slika 23. Broj požara na području ŠK županije u razdoblju od 2010. do 2013. godine

Izvor: prema Držaić i Kavran, 2014., prostorna baza podataka DUZS-a



Slika 24. Analiza gustoće požara ŠK županije u razdoblju od 2010. do 2013.

Izvor: Držaić i Kavran, 2014

Dobivani rezultati obje analize poklapaju se s analizom gustoće požara prema autorima Držaić i Kavran (2014). Izlazni rezultati oba modela prostor oko gradova Knina, Šibenika, Driša i Skradina prikazuju ugroženijima 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 od požara. S druge strane u modelu 2 su iste zone pokrivena kategorijama umjerenog, umjereno visokog i visokog rizika, pri čemu je najraširenija kategorija umjerenog rizika od požara. Iz navedenog zaključuje se da je model 1 točniji od modela 2 te pokazuje veću ugroženost od požara unutar zona dosadašnje najveće gustoće požara.

## **9. UPRAVLJANJE VATROGASNIM INTERVENCIJAMA**

Upravljanje šumskim požarima sastoji se od dvije faze, prevencije i gašenja požara. Prevencija se smatra najbitnijom jer je učinkovitija i jeftinija, a najkritičniji faktor pri suzbijanju požara je operativna koordinacija. (Thomas, Psilovikos, Kosmas, Doukas 2011). Nakon dojave o požaru, od trenutka oglašavanja alarma do trenutka izlaska vozila na požar treba biti manje od 60 sekundi. Od vatrogasne postrojbe do mjesta požara udaljenost mora biti maksimalno 15 minuta, a u koliko je potrebno više od navedenog potrebna je dislokacija vatrogasne postrojbe (Szabo, 2001). S obzirom na hitnost intervencije, vrlo je važno je odrediti najbliži put do mjesta intervencije te pozicije hidranata. Pri izlasku na intervencije za vatrogasna vozila vrijede prometni propisi i nužno je kretati se sa uključenim zvučnim i svjetlosnim signalima. Ako hitnost intervencije to zahtjeva, može se voziti i jednosmjernim putem u pravcu koji je za opći promet zabranjen. Pri dolasku na požar vozilo treba biti parkirano tako da se može slobodno ući i izaći iz njega te da bude okrenuto prema izlazu. Što se tiče razmještaja vozila na terenu po dolasku na mjesto požara vozila se postavljaju tako da u slučaju potrebe mogu nesmetano napustiti ugroženo područje. Vozila ne smiju biti izložena opasnostima od topline, iskri ili rušenja. Parkiranje je ovisno o mjestu požara, o količini cijevi koje su na raspolaganju i o udaljenosti izvorišta vode. Vozila za opskrbu vode (auto cisterne) obično se postavljaju maksimalno za dužinu jedne cijevi (15 m) od izvorišta ako je izvorište hidrant. Vozila za spašavanje parkiraju se bliže ugroženom objektu. Parkiranje vozila određuje zapovjednik (Szabo, 2001). Dolaskom na intervenciju formira se izviđačka grupa (zapovjednik s jednim do dva člana), čiji je zadatak procjena obujma i intenziteta požara, definiranje mogućih puteva i pravaca djelovanja, procjena ugroženosti osoba i materijalnih dobara te razumijevanje meteoroloških prilika. Izviđanje treba

trajati oko 40 sekundi, ali tijekom intervencije može doći do promjene u odnosu na uočene pojedinosti. Zapovjednik treba ustanoviti jesu li ugroženi ljudi, da li su ugroženi neki naročito vrijedni predmeti ili životinje, kako gori i što gori, da li postoji opasnost od širenja požara, da li postoje nekakve posebne opasnosti te odrediti puteve djelovanja (Szabo, 2001).

### **9.1. Preventivna faza vatrogasnih intervencija**

Prevenција uključuje niz akcija poput čišćenja šuma od zapaljivih materijala, konstrukcija šumskih puteva, osiguravanje dostupnih izvora vode te kontinuirano motrenje terena. Preventivna faza još uključuje prepoznavanje požara u nastanku te osiguravanje brze intervencije unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju, odnosno unutar 15 minuta (Szabo, 2001). U ovom radu napravljena je analiza preventivne faze na području Šibensko-kninske županije s posebnim naglaskom na NP Krka.

#### **9.1.1. Prohodnost puteva na području NP Krka za potrebe vatrogasnih vozila**

Kada govorimo o optimizaciji operativne koordinacije, odnosno o kretanju vatrogasnih jedinica po terenu različiti parametri utječu na kretanje vatrogasnih vozila i na kretanje ljudstva. Kretanje vozila uglavnom je određeno postojanjem puteva predviđenih za njih, dok je ljudstvo značajno fleksibilnije po pitanju kretanja po terenu. Među tehničkim karakteristikama šumskih cesta najvažnija je širina ceste u kombinaciji s nagibom kako bi se osigurao siguran pristup vatrogasnim vozilima (Thomas, Psilovikos, Kosmas, Doukas 2011.) Širina puta naravno mora biti veća od širine vozila inače se staza smatra neprohodnom. U ovom radu tehničke karakteristike šumskih cesta bit će izdvojene tako da pogoduju tipovima vozila kojima raspolaže JVP Šibenik. Kao osnovni faktor prohodnosti uzeti će se širina puteva u odnosu na širinu vozila. Širina puta mora biti barem jedan metar veća od širine vozila kako bi prolaz bio siguran. Tablica 12. Potrebna širina puteva s obzirom na vrstu vatrogasnog vozila.

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

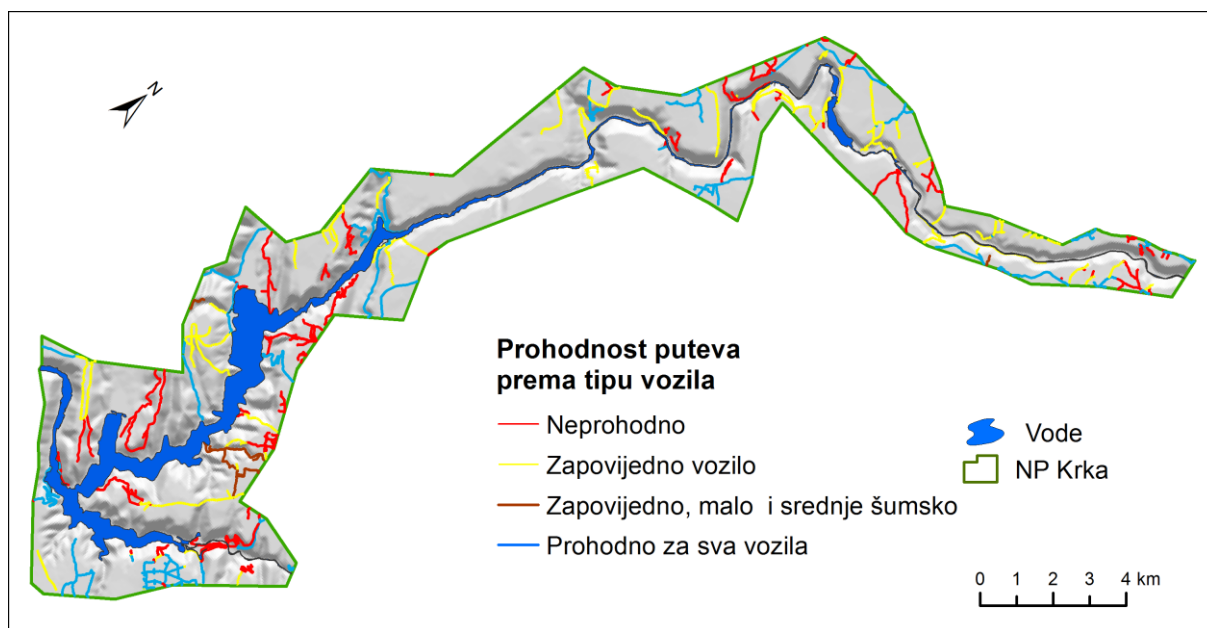
Izvor: (u.p. Milošević, 2017).

Prema tome zapovjedno vozilo koje ima širinu 1,6 metara zahtjeva minimalnu širinu staze 2,6 metara. S obzirom na to da je to najmanje vozilo JVP-a od izdvojenih pet tipova, širina puta ispod 2,6 metara smatra se neprohodnom za vatrogasna vozila. Na području NP Krka prema navedenim podacima o širini vozila (Tablica 12) izdvojene su četiri kategorije puteva (Tablica 13). Prva kategorija odnosi se na puteve neprohodne vatrogasnim vozilima, druga kategorija su putevi prilagođeni samo za zapovjedno vozilo, treća kategorija putevi pogodni za mala i srednja šumska vozila, dok četvrta kategorija obuhvaća puteve kojima mogu prolaziti svi tipovi vozila. Tablica 13. Kategorije šumskih puteva s obzirom na mogućnost prolaza vatrogasnih vozila.

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

Izvor: (u.p. Milošević, 2017).

Na prostoru NP Krka razgranata je mreža puteva ukupne duljine 190 km. S obzirom da je ovo nacionalni park na njegovom prostoru se u pravilu ne čiste putevi, čak ni za potrebe zaštite od požara, već se drži do očuvanja izvornog krajolika. Prema tome čak 49% postojećih puteva nije prohodno niti za jedan tip vatrogasnog vozila. Suprotno tome 31% puteva prohodno je svim tipovima vozila. Samo za zapovjedno vozilo prohodno je 17% puteva, a samo 3% puteva spada u treću kategoriju prohodnosti (Slika 23).



Slika 25. Prohodnost puteva na području NP Krka

### 9.1.2. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju – NP Krka

Analiza standardnog vremena potrebnog za intervenciju napravljena je za pet vatrogasnih postrojbi nadležnih za NP Krka. U slučaju požara u NP koriste se pet karakterističnih vozila koja se obično koriste 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. Također vozila se razlikuju po masi, broju sjedala i maksimalnoj brzini koju mogu dosegnuti (u.p. Milošević, 2017). Pošto se vozila ne mogu kretati jednakom maksimalnom brzinom, potrebno je za svaki pojedinačni tip vozila napraviti analizu vremena potrebnog za intervenciju.

Tablica 14. Maksimalna brzina vatrogasnog vozila prema tipu prometnice

	Maksimalna brzina vozila km/h				
	Zapovjedno vozilo	Malo šumsko vozilo	Srednje šumsko vozilo	Veliko šumsko vozilo	Auto - cisterna
Autocesta	130	100	100	100	90
Brza cesta	120	80	80	80	70
Županijska	100	80	80	60	50
Lokalna	80	60	60	50	40
Državna	100	80	80	60	60
Makadam	50	40	40	30	30
Ostalo	50	40	40	30	30

IZVOR: (u.p. Milošević, 2017).

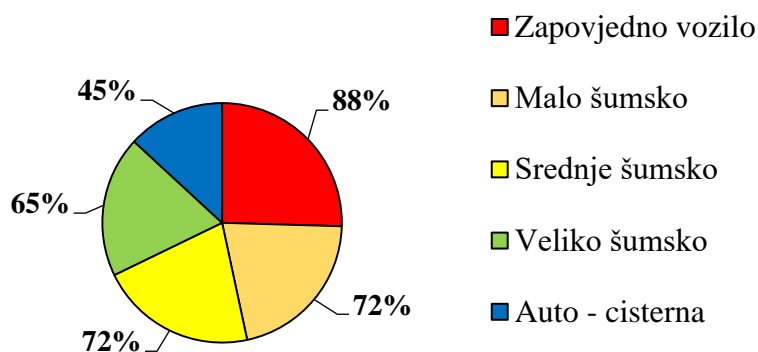




Slika 26. Tipovi prometnica na području Šibensko-kninske županije

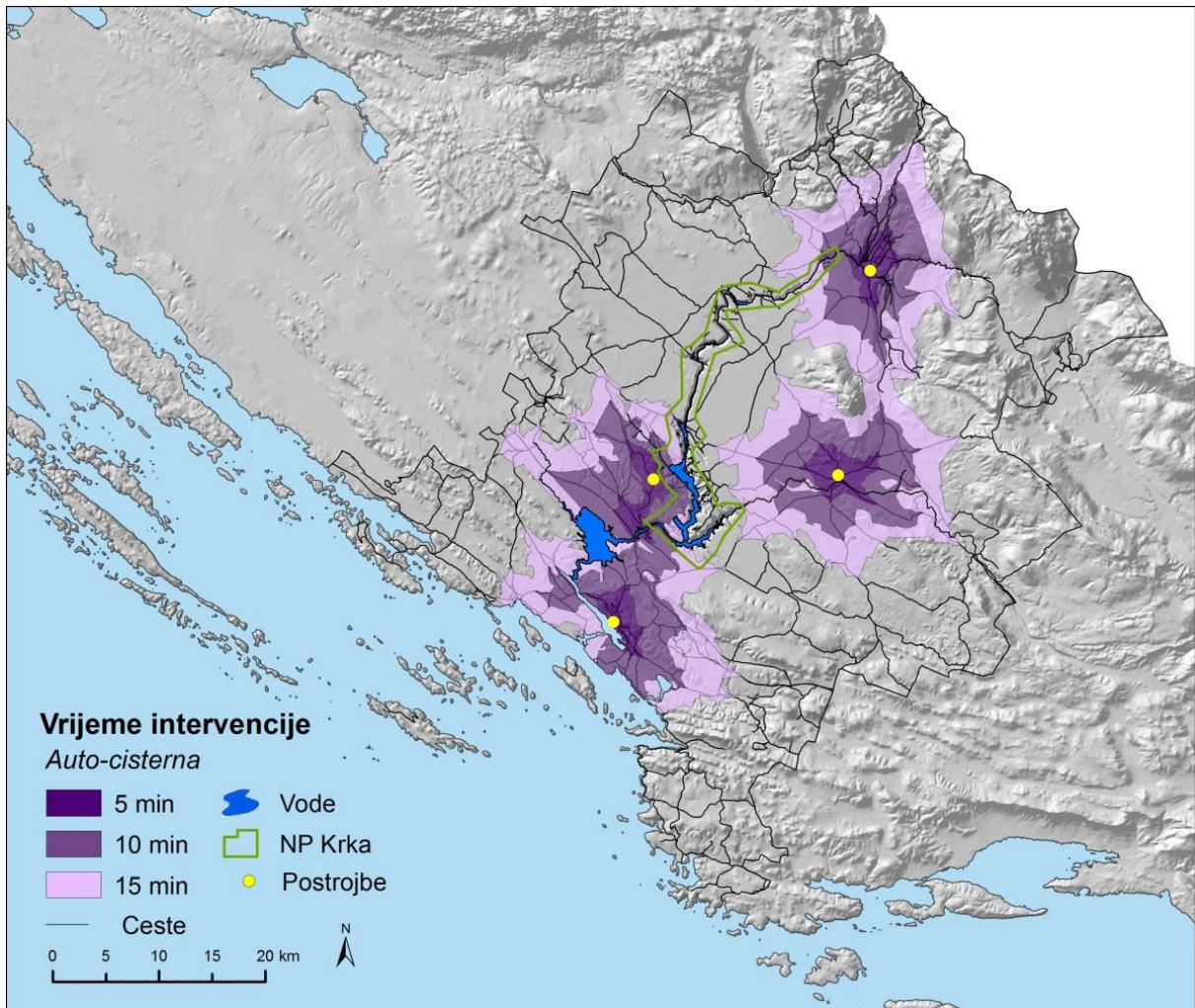
Na području šibenske županije izdvojeno je sedam kategorija prometnica (autocesta, brza cesta, državna, županijska, lokalna, makadam, i ceste). Masivnija vozila, s mogućnosti dopremanja veće količine vode mogu doseći manju brzinu na navedenim prometnicama. Prema tome zapovjedno vozilo dostiže najveću brzinu, a auto-cisterna najmanju. Malo i srednje šumsko vozilo imaju jednaku maksimalnu brzinu, ovisno o tipu prometnice nešto veću od velikog šumskog vozila (Tablica 14).

Pokrivenost unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju direktno je vezana upravo za maksimalnu brzinu vozila. Prema tome logično je da zapovjedno vozilo pokriva najveću površinu unutar 15 minuta u odnosu na ostala vozila. Zapovjedno vozilo pokriva 86% ukupne površine NP u zadanom vremenu. Malo i srednje šumsko pokrivaju 72% površine parka. Velikim šumskih vozilo pokriveno je 65% parka, dok auto-cisterna pokriva tek 45% ukupne površine (Slika 25).

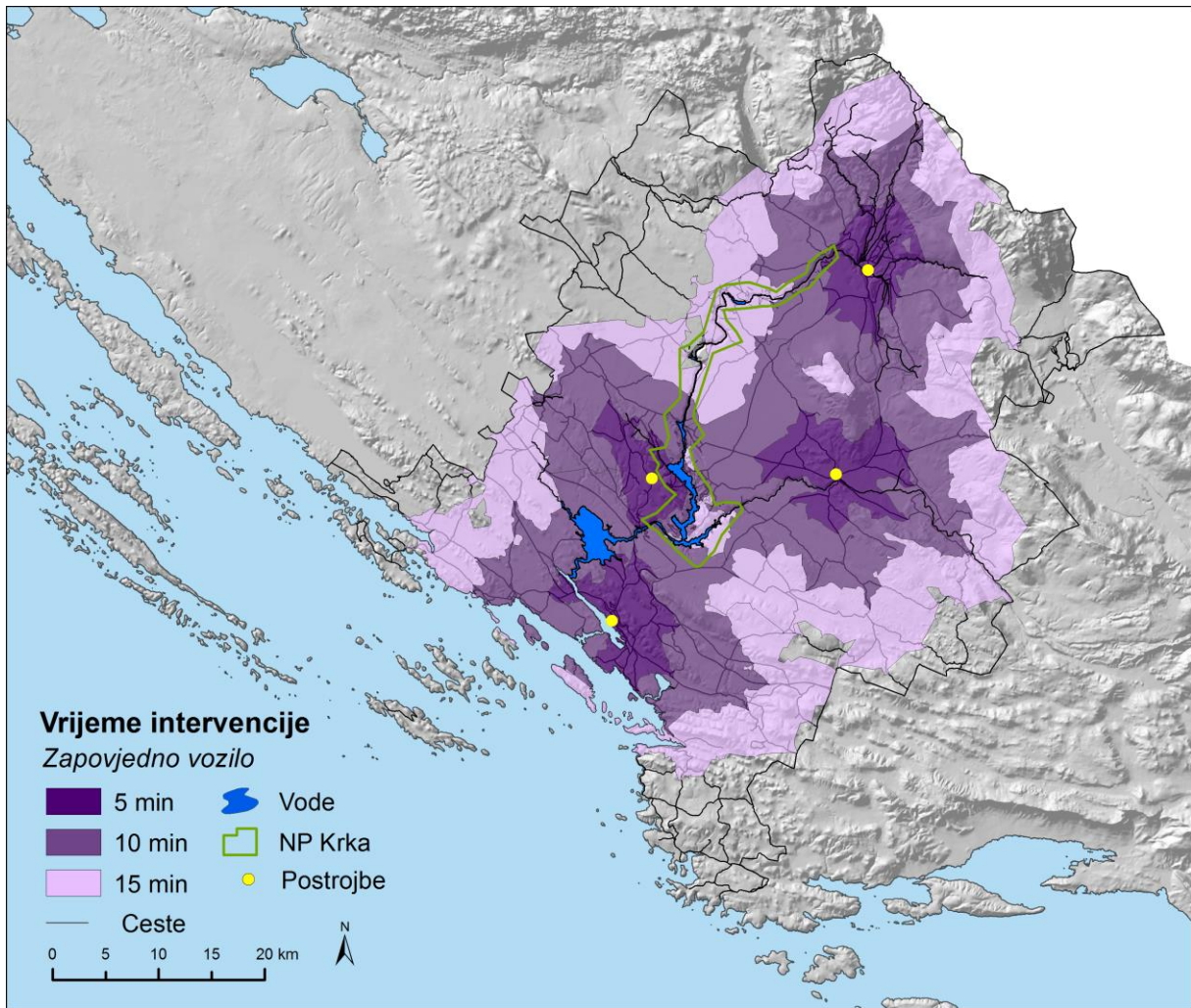


Slika 27. Pokrivenost NP Krka s obzirom na tip vatrogasnog vozila

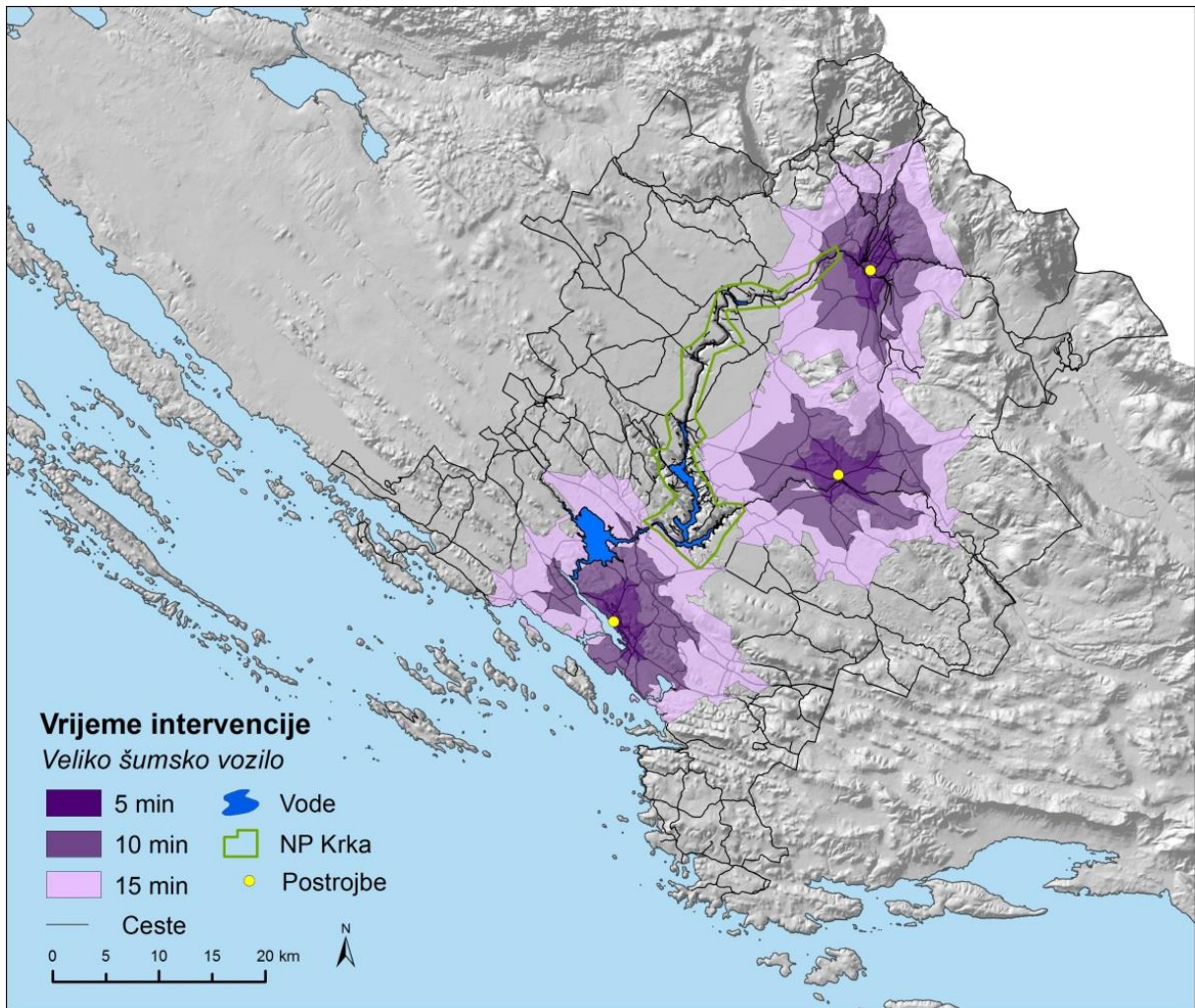
U ukupnoj pokrivenosti NP unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju najveći udio ima DVD Dubravice (41%), unatoč tome što ne raspolaže sa svim tipovima vozila, nalazi se na najboljoj lokaciji u odnosu na ostale postrojbe. DVD Skradin nalazi se nedaleko od ulaza u nacionalni park, no kako posjeduje samo auto-cisternu i srednje šumsko vozilo u ukupnoj pokrivenosti parka ima najmanji udio (6%). JVP Šibenik od svih postrojbi najudaljeniji je od nacionalnog parka te unatoč posjedovanju svih tipova u ukupnoj pokrivenosti sudjeluje s tek 13%. JVP Knin pokriva 17%, a JVP Drniš 23% ukupne površine.



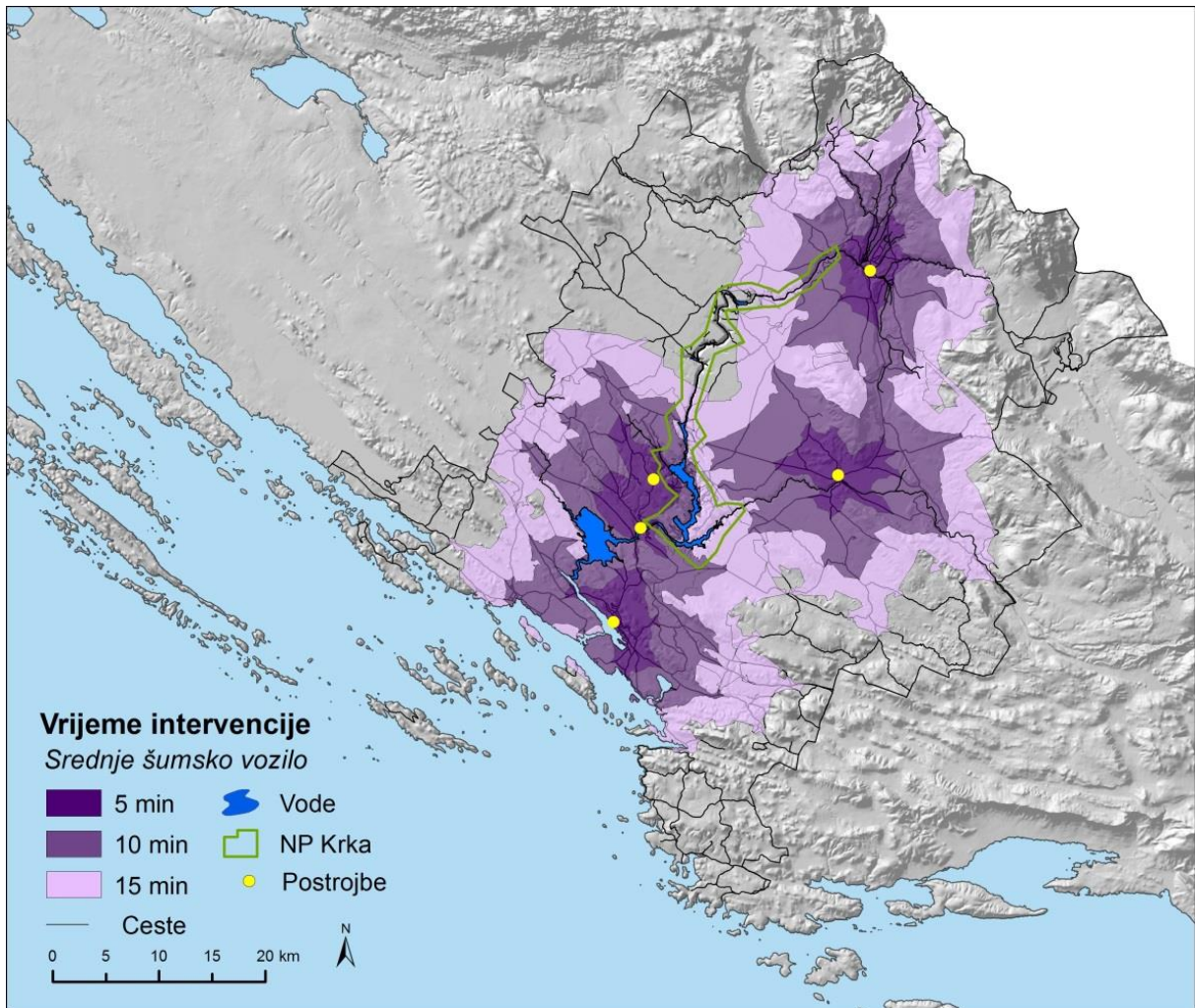
Slika 28. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju: auto-cisterna



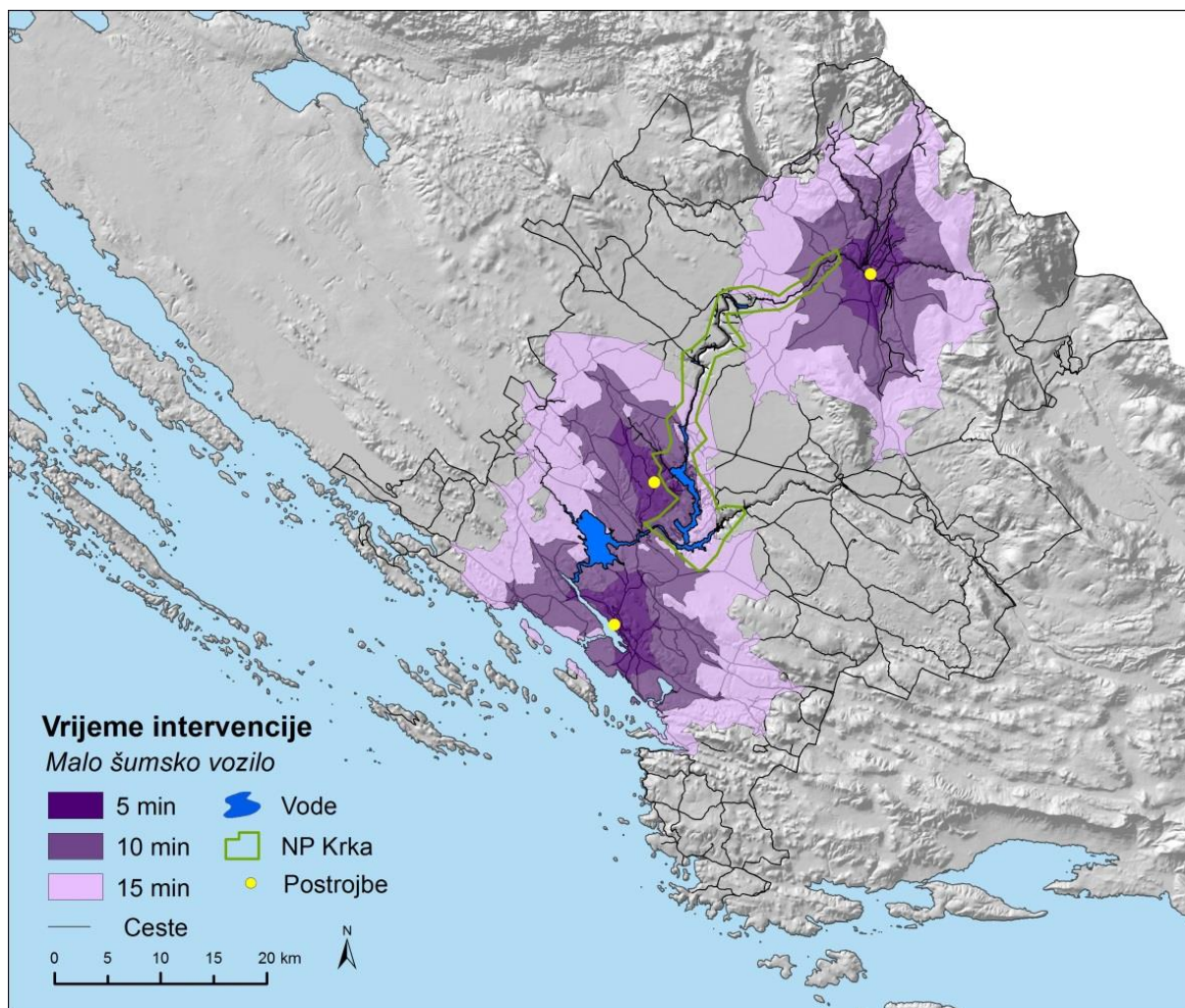
Slika 29 . Standardno vrijeme potrebno za intervenciju: zapovjedno vozilo



Slika 30. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju: veliko šumsko vozilo



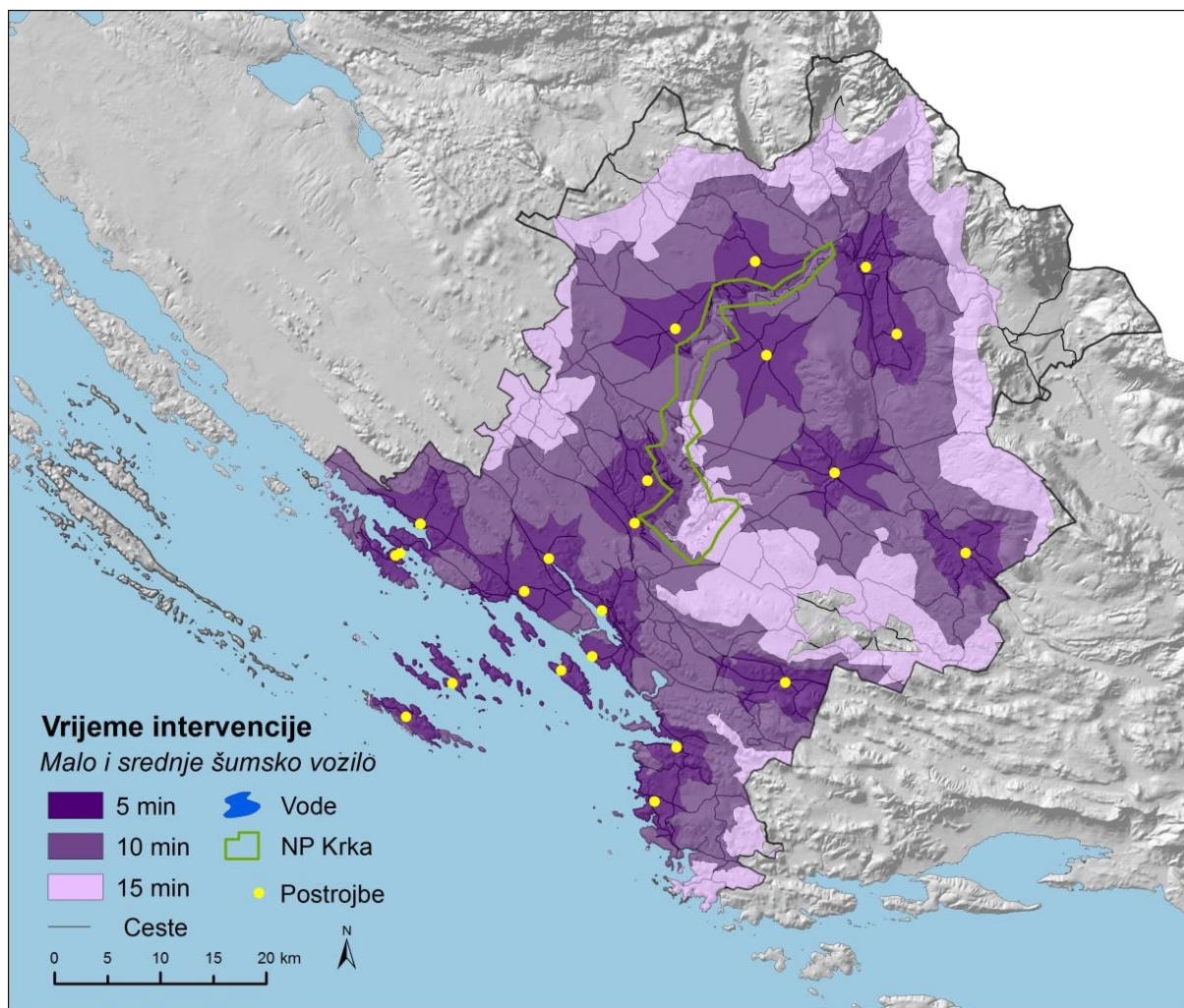
Slika 31. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju: srednje šumsko vozilo



Slika 32. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju : malo šumsko vozilo

### 9.1.3. Standardno vrijeme intervencije - Šibensko-kninska županija

Na području cijele županije ukupno je 27 vatrogasnih postrojbi. Od toga se na prostoru županije nalaze četiri JVP-a i 23 DVD-a. Pri analizi vremena potrebnog za intervenciju nisu odabrani svi tipovi vozila kao u prethodnom primjeru već su izdvojeni samo malo i srednje šumsko vozilo. Tako je dobiven najbolji slučaj pokrivenosti, jer navedena dva vozila odmah nakon zapovjednog vozila mogu postići najveću brzinu. Zapovjedno vozilo nije uzeto kao primjer jer njegova prvenstvena namjera nije gašenje požara, već kontrola i izvidnica. Unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju pokriveno je 84,5% površine županije. Od toga na 5 minuta potrebnih za intervenciju otpada 22%, na 10 minuta 40% i na 15 minuta 22% županije. Šibensko-kninska županija broji ukupno 199 naselja od kojih samo 8 nije obuhvaćeno unutar standardnog vremena intervencije. Nadalje 64 naselja je pokriveno unutar dohvata od 5 minuta, 68 unutar naselja unutar 10 minuta i 41 naselje unutar 15 minuta.

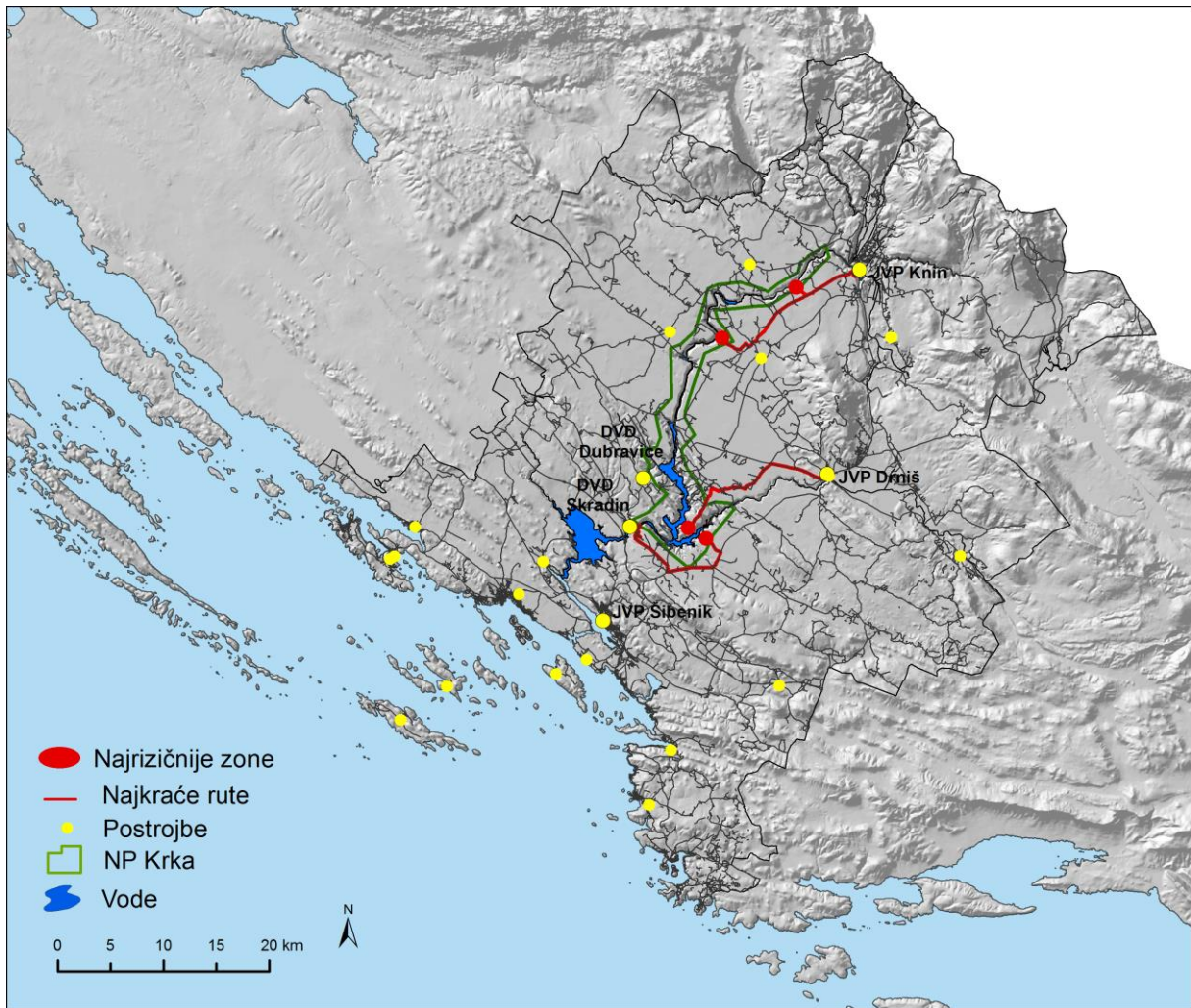


Slika 33. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju iz svih postrojbi ŠK županije

#### 9.1.4. Odabir najbliže postrojbe i ruta do požarima najugroženijih zona

Za potrebe ove analize izdvojene su zone najveće ugroženosti od požara dobivene višekriterijskom analizom te su pretpostavljene kao mjesta izbijanja požara. Kako se radi o nacionalnom parku prioritet je u što kraćem vremenu doći do rizičnih lokacija. Na prostoru parka dobivena su četiri rizična kruga prosječne površine 700 metara. Dvije su zone raspoređene sjevernom i dva u južnom dijelu parka. Od nadležnih postrojbi za nacionalni park kao najbliže izdvojene su JVP Knin, DVD Skradin i JVP Drniš. JVP Knin pri tome pokriva rizične zone u sjevernom dijelu parka, JVP Drniš i DVD Skradin u južnom djelu. Sve četiri zone pokrivena su unutar 15 minuta odnosno vremene potrebnog za intervenciju.





Slika 34. Odabir najbliže postrojbe i najkraće rute do požarima najugroženijih područja

## 10. ZAKLJUČAK

Nakon što su opisane mogućnosti implementacije GIS-a u vatrogasni sustav, provedena je višekriterijska analiza rizika od požara na cijelom području Šibensko-kninske županije. Višekriterijska analiza napravljena je za dva različita scenarija. U prvom scenariju težinski faktori utjecaja pojedinih parametra dodijeljeni su na temelju iskustva vatrogasnog zapovjednika JVP Šibenik, dok su u drugom preuzeti od autora koji se bavio istom analizom na području Indije. Rezultati navedenih analiza nisu bitno različiti osim u kategoriji umjerenog rizika od požara koja je u prvoj analizi za 8% više raširena od iste kategorije u drugoj analizi. U oba slučaja NP Krka može se svrstati u kategoriju umjerenog rizika od požara. Rezultati obje analize uspoređeni su s analizom gustoće požara na prostoru županije pri čemu se model 1 pokazao točnijim od modela 2.

Također izdvojene su zone najvećeg rizika od požara na području NP te su na temelju mrežne analize odabrane najbliže vatrogasne postrojbe. To su JVP Drniš za zapadni dio parka, JVP Knin za sjeverni dio te DVD Dubravice na istočnoj strani kanjona Krke. Nadalje, provedena je analiza dostupnosti vatrogasnih jedinica unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju. Rezultat pokazuje da zapovjedno vozilo koje je najbrže (s namjenom izviđanja) ne pokriva dio od 14% ukupne površine parka. Malim i srednjim šumskim vozilima namjenjenim gašenju požara ostaje nepokriveno 28%, a auto-cisterni čak 55% površine unutar 15 minuta. Time je potvrđena hipoteza da pokrivenost unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju nije zadovoljavajuća na području nacionalnog parka. Postavlja se pitanje opremljenosti vatrogasnih postrojbi zaduženih za nacionalni park. Općenito u Hrvatskoj danas, velik su problem nedovoljna sredstva za potrebe vatrogastva dok se istovremeno broj požara povećava. Takav je slučaj i u navedenim vatrogasnim postrojbama. JVP Šibenik je nedvojbeno najopremljenija postrojba u usporedbi s ostalima zaduženim za NP, dok sve ostale postrojbe imaju tek po jedan primjerak vozila adekvatnih za šumske požare ili ga uopće nemaju. Dakle, ako je više istovremenih požara na prostoru županije (što je čest slučaj za ljetnih mjeseci), njihova opremljenost definitivno nije zadovoljavajuća.

Na području NP čak 49% puteva nije prohodno ni za jedan tip vatrogasnih vozila. Razlog tome je politika parka koja teži očuvanju izvornih vrijednosti bez antropogenih utjecaja na okoliš. Ipak, posljedice neodržavanja puteva mogu biti znatno gore od manjih ljudskih zahvata koji su u određenoj mjeri prisutni pošto je park otvoren za turiste. Jednom izgorenoj šumi potreban je dugi niz godina da se regenerira, a očuvanje prirodnih vrijednosti trebao bi ipak biti prioritet. Još jedan od problema NP bi moglo biti nepravovremeno uočavanje požara

pošto ne raspolaže vlastitim osmatračnicama već koristi one od Hrvatskih šuma koje su postavljene izvan zone parka.

Razmatranje postavljenih hipoteza:

H1- Dostupnost vatrogasnih postrojbi (unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju – 15 min) nije zadovoljavajuća na prostoru nacionalnog parka. Hipoteza je potvrđena. Nacionalni park nije u potpunosti pokriven unutar zadanog vremena, a s obzirom na to da se radi o prostoru iznimnog kulturnog i prirodnog značaja, treba težiti maksimalnoj pokrivenosti. Svaki dio nacionalnog parka treba bi biti pokriven unutar 15 minuta (u.p. Milošević, 2017), a ako to nije postignuto potrebna je dislokacija vatrogasnih postrojbi (Szabo, 2001). Prosjek pokrivenosti svih vozila za sada je približno 68% površine.

H2 - Opremljenost vatrogasnih postrojbi (po pitanju vozila za šumske požare) zaduženih za NP Krka nije zadovoljavajuća. Hipoteza se nije pokazala točnom. Dakle opremljenost vatrogasnih postrojbi vozilima za šumski tip požara je zadovoljavajuća, odnosno sve postrojbe (osim DVD Skradin) raspolažu s barem četiri od pet potrebnih vozila. Iako se postavljena hipoteza pokazala netočnom važno je naglasiti da se za primjer uzima idealna situacija gdje su sva vozila na raspolaganju samo za NP što u požarnoj sezoni uglavnom nije realno. Uz navedeno vozila su uglavnom stara (kupljena prije 30ak godina) i kao takva neispunjavaju maksimalnu protupožarnu učinkovitost (u.p. Milošević, 2017).

H3 - Područje NP Krka prema korištenoj metodologiji spada u kategoriju visokog rizika od požara. Postavljena hipoteza pokazala se netočnom. NP Krka spada u prostor umjerenog rizika od požara.

H4 - Na prostoru NP Krka više od 50% staza nije pogodno za kretanje svih tipova vatrogasnih vozila. Na temelju analize puteva nacionalnog parka ustanovljeno je da je 49% puteva neprohodno svim tipovima vozila. Dobiveni rezultat ukazuje na to da je potrebno povećano ljudstvo i pomoć kanadera u gašenju požara, a hipoteza se pokazala netočnom.

## 11. POPIS GRAFIČKIH PRILOGA

### 11.1. Popis slika

Slika 1. Prostorni obuhvat Šibensko-kninske županije .....	12
Slika 2. NP Krka - Skradinski buk .....	13
Slika 3. Uređivanje topologije cesta.....	16
Slika 4. Komponente GIS-a .....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Slika 5. Rasterski i vektorski oblik podataka .....	23
Slika 6. Primjer računanja normaliziranog vegetacijskog indeksa .....	27
Slika 7. Normalizirani vegetacijski indeks.....	27
Slika 8. Network Analyst izbornik.....	34
Slika 9. Učestalost požara i distribucija vatrogasnih postrojbi u Kuwaitu 2008. godine.....	37
Slika 10. Odabrane vatrogasne postrojbe 2008. godine - <i>location-allocation</i> analiza.....	37
Slika 11. AHP hijerarhija .....	40
Slika 12. Usporedba faktora .....	41
Slika 13. Vegetacija kao kriterij ugroženosti od požara.....	45
Slika 14. Usporedba zastupljenosti nagiba prema klasama na području NP Krka i ŠK županije .....	46
Slika 15. Nagib kao kriterij ugroženosti od požara .....	47
Slika 16. Usporedba zastupljenosti klasa ekspozicije na području ŠK županije i NP Krka .....	48
Slika 17. Ekspozicija kao kriterij ugroženosti od požara .....	49
Slika 18. Nadmorska visina kao kriterij ugroženosti od požara.....	50
Slika 19. Udaljenost od naselja kao kriterij ugroženosti od požara .....	52
Slika 20. Udaljenost od cesta kao kriterij ugroženosti od požara .....	53
Slika 21. Zone rizika od požara na području Šibensko-kninske županije – model 1.....	56
Slika 22. Zone rizika od požara na području Šibensko-kninske županije – model 2.....	57
Slika 23. Usporedba rezultata višekriterijske analize 1 i 2 .....	58
Slika 24. Broj požara na području ŠK županije u razdoblju od 2010. do 2013. godine .....	59
Slika 25. Analiza gustoće požara ŠK županije u razdoblju od 2010. do 2013.....	59
Slika 26. Prohodnost puteva na području NP Krka.....	62
Slika 27. Tipovi prometnica na području Šibensko-kninske županije .....	64
Slika 28. Pokrivenost NP Krka s obzirom na tip vatrogasnog vozila .....	65
Slika 29. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju –auto-cisterna.....	66
Slika 30. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju – zapovjedno vozilo .....	67
Slika 31. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju - veliko šumsko vozilo.....	68

Slika 32. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju – srednje šumsko vozilo.....	69
Slika 33. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju – malo šumsko vozilo .....	70
Slika 34. Standardno vrijeme potrebno za intervenciju iz svih postrojbi ŠK županije .....	71
Slika 35. Odabir najbliže postrojbe i najkraće rute do požarima najugroženijih područja .....	72

### ***11.2. Popis tablica***

Tablica 1. Ispunjavanje matrice .....	41
Tablica 2. Normalizacija i određivanje težinskog faktora.....	41
Tablica 3 . Kategorije rizika od požara .....	43
Tablica 4. Kategorije vegetacije prema ugroženosti od požara.....	44
Tablica 5. Kategorije nagiba prema razini rizika od požara.....	46
Tablica 6. Kategorije eskpozicije prema razini rizika od požara .....	47
Tablica 7. Kategorije nadmorske visine prema razini rizika od požara .....	50
Tablica 8. Kategorije udaljenosti od naselja i cesta prema razini rizika od požara .....	51
Tablica 9. Međusobni utjecaj parametara višekriterijske analize.....	54
Tablica 10. AHP usporedba parametara – model 1 .....	55
Tablica 11. AHP usporedba parametara - model 2 .....	55
Tablica 12. Potrebna širina puteva s obzirom na vrstu vatrogasnog vozila .....	61
Tablica 13. Kategorije šumskih puteva s obzirom na mogućnost prolaza vatrogasnih vozila. 62	
Tablica 14. Maksimalna brzina vatrogasnog vozila prema tipu prometnice.....	63

## **12. POPIS AKRONIMA**

AHP - Analytic Hierarchy Process  
DBMS - Database Management System  
DGU - Državna geodetska uprava  
DOF – Digitalna ortofoto karta  
DVD – Dobrovoljno vatrogasno društvo  
DMR - Digitalni model reljefa  
ESRI - Environmental Science Research Institute  
GIS - Geographic Information System  
GPS - Global Positioning System  
LIDAR - Light Detecting and Ranging  
JVP – Javna vatrogasna postrojba  
NDVI - Normalized Difference Vegetation Index  
NP - Nacionalni park  
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission  
SQL - Standard Query Language  
WMS - Web Map Service

### 13. LITERATURA

1. Alfa Atest d.o.o. (2015): Procjena ugroženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara i okoliša – Grad Šibenik, Split
2. Algharib, S. M. (2011): *Distance and coverage: an assessment of location-allocation models for fire stations in Kuwait City*, Kent State University, Kuwait.
3. 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.str
4. Držaić, D., Kavran, M., Antolović, A. (2015): *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).
5. ESRI, (2012): *GIS for fire services*, Redlands, California.
6. Estoque C. R. (2011): *GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis (in Natural Resource Management)*, University of Tsukuba
7. Filipčić A., Šegota T. (1996): *Klimatologija za geografe*, Školska knjiga, Zagreb
8. Frančula, N. (2004): *Digitalna kartografija*, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.
9. Frančula, N. i Lapaine, M. i Vučetić (1994): *Primjena daljinskih istraživanja u kartografiji*, Geodetski list 48 (3), 265-276.str
10. Hajkowicz, S.(2007): *A comparison of multiple criteria analysis and unaided approaches to environmental decision making*, Environmental Science & Policy, Elsevier, Vol. 10., No. 2., 177-184.str
11. Hajkowicz, S., Collins, K.(2007): *A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management*, Water Resources Management, Vol. 21,No. 9, 1553-1566.str
12. Hengl, T., Gruber, S., Shrestha, D. P. (2003): *Digital terrain analysis in ILWIS: lecture notes and user guide*, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, Netherlands.
13. Kant Sharma, L., Kanga, S., Singh Nathawat, M., Sinha, S., & Chandra Pandey, P. (2012). Fuzzy AHP for forest fire risk modeling. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 21(2), 160-171.
14. Keane, R. E., Burgan, R., van Wagendonk, J. (2001): *Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling*, International Journal of Wildland Fire, 10(4), 301-319.str
15. Magaš, D. (2013): *Geografija Hrvatske*, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Meridijani, Zadar
16. Maloy, M. A., Dean, D. J. (2001): *An accuracy assessment of various GIS-based watershed delineation techniques*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67(11), 1293-1298.
17. Mamut, M., 2011: *Veza prirodnogeografske i sociogeografske osnove Dalmacije s ugroženošću otvorenog prostora požarom*, Šumarski list, 1-2, Zagreb, 37-50.str

18. Marić I., Milošević R., Ronald V. (2015.): *Primjena GIS tehnologije u vatrogastvu*, *Vatrogastvo i upravljanje požarima* 1, 57 – 71.str
19. Netolicki, A., Blažević, T., & Antolović, A. (2012.): *Višekriterijska analiza rizika od požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji*. *Kartografija i geoinformacije*, 11(17), 5-24.str
20. Nikolić, I.; Borović, S.: *Višekriterijska optimizacija: metode, primjena u logistici, softver*, Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije, Beograd, 1996
21. Pahernik M. (2006.): *Uvod u geografsko informacijske sustave*, Zapovjedništvo za združenu izobrazbu i obuku „Petar Zrinski“, Zagreb.
22. Pahernik M. (2007): *Digitalna analiza padina otoka Raba*, Hrvatsko vojno učilište "Petar Zrinski", Zagreb
23. Pahernik M. (2012): *Digitalna analiza reljefa – skripta*, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb
24. 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).
25. Pompa-García, M., Solís-Moreno, R., Rodríguez-Téllez, E., Pinedo-Álvarez, A., Avila-Flores, D., Hernández-Díaz, C., Velasco-Bautista, E. (2010): *Viewshed analysis for improving the effectiveness of watchtowers, in the north of Mexico*, *Open Forest Science Journal*, 3, 17-22.str
26. Radoš, D., Lozić, S., Šiljeg, A. (2012), *Morfometrijske značajke šireg područja Duvanjskog polja, BIH*, *Geoadria*
27. Razvojna Agencija ŠK županije (2011): *Razvojna strategija Šibensko-kninske županije*, Šibenik
28. Sari, F., Erdi, A. (2012): *A Network Analyst Design For Providing The Shortest Intervention Time Of The Emergency Vehicles As Like Ambulance And Fire Fighting To 71 The Emergency Events*, A Case Study Konya, FIG Working Week 2012 Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage Rome, Italy.
29. Shary, P. A, Sharaya, L. S., Mitusov, A. V. ( 2002): *Fundamental quantitative methods of land surface analysis*, *Geoderma* 107 (2), 1-32.str
30. Steiniger, S., Bocher, E. (2009): *An overview on current free and open source desktop GIS developments*, *International Journal of Geographical Information Science*, 23(10), 1345-1370.str
31. Szabo, N.(2001): *Vatrogasna taktika*, Visoka škola za sigurnost na radu, Zagreb
32. Šiljeg, A. (2013): *Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero* – doktorski rad, Prirodoslovo-matematički fakultet, Zagreb
33. Šimić, Grizelj, V.(2014): *GIS i njegova primjena u hidrologiji i suvremenom vodnogospodarskom planiranju*, *Hrvatske vode*, 22 (88) 119-130.str
34. Šimić, Z. (2013). *Psihološka potpora vatrogasaca na strateškoj, taktičkoj i operativnoj razini vođenja i zapovijedanja*, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 3(2.), 4-13.str



35. Tutić D., Vučetić N., Lapaine M. (2002): *Uvod u GIS - skripta*, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet

Volimir Milošević, zapovjednik JVP Šibenik – usmeno priloženje, 10.12.2017.

## 14. IZVORI

**URL 1** <https://element.hr/artikli/file/1710> 10.10.2016.

**URL 2** <https://www.fer.unizg.hr> 12.10.2017.

**URL 3** [http://www.rst2.org/ties/GENTTOOLS/comp\\_gis.html](http://www.rst2.org/ties/GENTTOOLS/comp_gis.html) 5.9.2017.

**URL 4** [https://www.fhwa.dot.gov/bridge/abc/dmtool/software\\_manual.cfm](https://www.fhwa.dot.gov/bridge/abc/dmtool/software_manual.cfm) 16.11.2017.

**URL 5** [http://croatia.gdi.net/?page\\_id=888](http://croatia.gdi.net/?page_id=888) 17.1.2017.

### **URL 6**

[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Types\\_of\\_network\\_analyses](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Types_of_network_analyses) 20.11.2017.

### **URL 7**

[http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/How\\_Fuzzy\\_Membership\\_works/009z000000rz000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/How_Fuzzy_Membership_works/009z000000rz000000/) 12.11.2017.

### **URL 8**

<http://www.geografija.hr teme/karte-i-gis/daljinska-istrazivanja/> 20.11.2017.

### **URL 9**

<https://ru.scribd.com/document/80797266/GIScience> 7.8.2017.

### **URL 10**

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> 15.9.2017.

### **URL 11**

<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=b49685ff980a4af2ac7bc0cadbd3be> 10.1.2017.

**URL 12** <http://www.npkrka.hr/stranice/nacionalni-park-krka/2.html> 10.1.2017.

### **URL 13**

<http://www.geografija.hr/hrvatska/np-krka-turizam-i-odrzivi-razvoj-1-dio/> 10.1.2017.

**URL 14** <https://www.slideshare.net/johnjreiser/intro-to-gis-and-remote-sensing> 10.1.2017.

**URL 15** <http://www.hps.hr/info/dinara/> 10.1.2017.

**URL 16** <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/> 15.1.2017.

### **URL 17**

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>  
15.1.2017.

**URL 18** <https://www.zakon.hr/z/305/Zakon-o-vatrogastvu> 16.1.2017.

**URL 19**

<http://www.unizd.hr/Portals/6/nastavnici/Sanja%20Lozic/Daljinska%20istra%C5%BEivanja%203.pdf> 15.9.2017.

**URL 20** <http://www.europeanwaterfalls.com/waterfalls/skradinski-buk/> 21.12.2017.