



UNIVERZITET CRNE GORE
FILOZOFSKI FAKULTET

Filip Vujović

**IZRADA GIS MODELA ZA KARTIRANJE HAZARDA OD
ŠUMSKOG POŽARA KORIŠĆENJEM OTVORENIH
GEOPROSTORNIH PODATAKA**

MASTER RAD

Nikšić, 2022.



UNIVERZITET CRNE GORE
FILOZOFSKI FAKULTET

Filip Vujović

**IZRADA GIS MODELA ZA KARTIRANJE HAZARDA OD
ŠUMSKOG POŽARA KORIŠĆENJEM OTVORENIH
GEOPROSTORNIH PODATAKA**

MASTER RAD

Nikšić, 2022.

PODACI I INFORMACIJE O STUDENTU

Ime i prezime: Filip Vujović

Datum i mjesto rođenja: 06.11.1997, Nikšić

Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina završetka studija: Osnovni akademski studijski program Geografija, 2020/21.

INFORMACIJE O MASTER RADU

Naziv master studija: Master akademski studijski program Geografija

Naslov rada: Izrada GIS modela za kartiranje hazarda od šumskog požara korišćenjem otvorenih geoprostornih podataka

Fakultet na kojem je rad odbranjen: Filozofski fakultet UCG

UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA

Datum prijave master rada:

Datum sjednice Vijeća na kojoj je prihvaćena tema:

Mentor: prof. dr Gojko Nikolić

Komisija za ocjenu i odbranu master rada: prof. dr Goran Barović

doc. dr Radovan Đurović

prof. dr Gojko Nikolić

Lektor: Balša Vukčević

Datum odbrane:

Datum promocije:

IZJAVA O AUTORSTVU

Kandidat: Filip Vujović

Na osnovu člana 22 Zakona o akademskom integritetu (Sl.list CG br. 17/2019), ja, dolje potpisani

IZJAVLJUJEM

pod punom krivičnom i materijalnom odgovornošću da je master rad pod nazivom „Izrada GIS modela za kartiranje hazarda od šumskog požara korišćenjem otvorenih geoprostornih podataka“ rezultat sopstvenog istraživačkog rada, da nijesam kršio autorska prava i koristio intelentualnu svojinu drugih lica i da je navedeni rad moje originalno djelo.

Nikšić, (datum)

04.07.2022.

Potpis studenta

F. Vujović

PREDGOVOR

Uvažavajući neophodnost primjene GIS-a kao alata koji pomaže u zaštiti šuma od požara, što se ubjedljivo očituje u razvijenijim djelovima svijeta (i Mediterana), rad je pisan s namjerom da se izradi optimalni GIS model za kartiranje hazarda od šumskog požara.

Koristim priliku da izrazim zahvalnost svom dugogodišnjem mentoru, prof. dr Gojku Nikoliću, koji je svojom podrškom, zalaganjem i brojnim savjetima bio od velike pomoći u radu na ovoj tezi.

Hvala i ostalim članovima komisije za ocjenu i odbranu rada: prof. dr Goranu Baroviću i docentu dr Radovanu Đuroviću.

Hvala Arseniju Miladinoviću, rukovodiocu Sektora za planiranje i logistiku u Službi zaštite i spašavanja opštine Budva na ekspertskim saopštenjima.

Hvala mojim prijateljima na podršci.

Ovaj rad posvećujem svojoj baki, roditeljima, bratu, sestri i djevojci. Zahvaljujem vam na ljubavi, podršci i razumijevanju koje ste mi pružili tokom obrazovanja.

SAŽETAK

Rad ima za cilj da izradi model za kartiranje hazarda od šumskog požara korišćenjem otvorenih geoprostornih podataka u primorskom regionu Crne Gore, tj. u istraživanom području Budve. Izrada modela zasnovana je na Geografskim informacionim sistemima, kombinovanju metoda višekriterijumske analize sa jedne i analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) sa druge strane. Cjelokupni proces modelovanja implementiran je u softveru otvorenog koda QGIS 3.14. Težinski koeficijenti za kriterijume izvedeni su korišćenjem AHP metode. AHP je implementiran u softveru LibreOffice Calc 7.2, koji je takođe otvorenog koda. Odabir kriterijuma, kao i standardizacija vrijednosti, izvršeni su na osnovu neophodnih preduslova – karakteristika istraživanog područja, pregleda referentne literature i ekspertskeg mišljenja. Za potrebe modela korišćeno je devet prirodnih i antropogenih kriterijuma: a) zemljišni pokrivač; b) ekspozicija; c) nagib; d) nadmorska visina; e) temperatura; f) padavine; g) udaljenost od puta; h) udaljenost od naselja; i) isključujući kriterijum. Vrijednosti indeksa hazarda od šumskog požara dobijene su metodom težinske linearne kombinacije. Potom je izrađena karta hazarda od šumskog požara, razvrstana u pet kategorija, od vrlo niskog (1) do veoma visokog (5) rizika. Rezultati otkrivaju da kategorija sa niskim hazardom zauzima površinu od svega 1.47 km² (1%); teritorija sa umjerenim hazardom 31.38 km² (26%); sa visokim hazardom čak 69.48 km² (57%), i teritorija sa veoma visokim hazardom 8.39 km² (7%). Područja isključena sa karte hazarda zauzimaju 10,46 km² (9%). Premda razvijeni model za kartiranje ima određene nedostatke (npr. sa rezolucijom i kvalitetom ulaznih podataka), njegova validacija pokazuje da ga karakteriše dobra tačnost. Predloženi model, naročito u slučaju oskudijevanja u geoprostornim podacima, može biti strateška i operativna prednost u razvoju planova i strategija zaštite od šumskih požara.

Ključne riječi: GIS, višekriterijumska analiza, šumski požar, AHP, Budva.

ABSTRACT

The paper aims to develop a model for mapping forest fire hazard using open geospatial data in the coastal region of Montenegro, i.e., in the researched area of Budva. The development of the model is based on Geographic Information Systems, a combined method of multicriteria analysis on the one hand and Analytical Hierarchical Process (AHP) on the other. The entire modeling process is implemented in QGIS 3.14 open-source software. The weighting coefficient for the criteria was derived using the AHP method. AHP is implemented in LibreOffice Calc 7.2 software, which is also open source. The selection of criteria and the standardization of values were made based on the necessary preconditions for the characteristics of the research area, review of reference literature and expert opinion. For the needs of the model, nine natural and anthropogenic criteria were used: a) land cover; b) aspect; c) slope; d) elevation; e) temperature; f) precipitation; g) distance from the road; h) distance from the settlement; i) excluding criteria. The values of the forest fire hazard index were obtained by the Weight Linear Combination (WLC) method. Then, a map of forest fire hazard was made, classified into five categories, from very low (1) to very high (5) risk. The results reveal that the low hazard category covers an area of only 1.47 km² (1%); territory with moderate hazard 31.38 km² (26%); with a high hazard of as much as 69.48 km² (57%), and a territory with a very high hazard of 8.39 km² (7%). Areas excluded from the hazard map cover 10.46 km² (9%). Although the developed mapping model has certain shortcomings with the resolution and quality of the input data, the validation shows that the final results have a good level of accuracy. The proposed model, especially in the case of scarce geospatial data, may be a strategic and operational advantage in the development of forest fire protection plans and strategies.

Key words: GIS, multicriteria analysis, forest fire, AHP, Budva.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	10
1.1. Predmet istraživanja.....	11
1.2. Motiv i cilj istraživanja.....	11
1.3. Hipoteze.....	11
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	12
2. TEORIJSKA OSNOVA.....	14
2.1. Nepogoda, katastrofa i hazard.....	14
2.2. Šumski požar.....	14
2.2.1. Vrste šumskih požara.....	15
2.2.2. Oblici šumskih požara.....	18
2.2.3. Djelovi šumskog požara.....	18
2.2.4. Uzroci nastanka šumskog požara.....	20
2.2.5. Geoprostorna i vremenska distribucija šumskih požara kao prirodnih katastrofa u svijetu.....	20
2.2.6. Šumski požari na području Mediterana.....	21
2.2.7. Šume i šumski požari u Crnoj Gori.....	22
2.3. Osnovno o Geografskim informacionim sistemima (GIS).....	24
2.3.1. Mogućnosti GIS-a u vatrogastvu i upravljanju požarima.....	25
2.4. Otvoreni geoprostorni softveri i podaci.....	26
3. MATERIJALI I METODE.....	27
3.1. Osnovne karakteristike istraživanog područja.....	27
3.2. Ulazni otvoreni geoprostorni podaci za potrebe modela.....	28
3.2.1. Zemljišni pokrivač Corine Land Cover.....	28
3.2.2. Digitalni model reljefa (DMR) EU-DEM.....	30
3.2.3. Digitalni model temperature i padavina.....	31
3.2.4. OpenStreetMap i Geofabrik.....	32
3.3. Metodologija izrade modela.....	32

3.3.1. GIS višekriterijumska analiza.....	32
3.3.1.1. Postavljanje cilja višekriterijumske analize/ definisanje problema	34
3.3.1.2. Određivanje kriterijuma	34
3.3.1.3. Standardizacija vrijednosti kriterijuma	35
3.3.1.4. Određivanje težina kriterijuma	35
3.3.1.5. Rezultati analize (objedinjavanje standardizovanih vrijednosti i težina kriterijuma).....	37
3.3.1.6. Validacija rezultata.....	37
4. REZULTATI I DISKUSIJA	39
4.1. Cilj GIS višekriterijumske analize/ definisanje problema.....	39
4.2. Određivanje kriterijuma za kartiranje hazarda od šumskog požara	39
4.3. Standardizacija kriterijuma za kartiranje hazarda od šumskog požara	46
4.4. Određivanje težina kriterijuma za kartiranje hazarda od šumskog požara	54
4.5. Rezultati analize za kartiranje hazarda od šumskog požara.....	55
4.6. Validacija rezultata	56
5. ZAKLJUČAK	58
LITERATURA.....	59
URL IZVORI.....	66
SPISAK TABELA.....	67
SPISAK SLIKA	67

1. UVOD

Hazard je opasna pojava, supstanca, ljudska aktivnost ili stanje koje može uzrokovati gubitak života, povrede ili druge negativne implikacije po zdravlje. Termin se susrijeće u opisima pojava kao što su oštećenje imovine, gubitak sredstava za život i usluge, društveno-ekonomski poremećaji ili štete nastale po životnu sredinu (UNISDR, 2009).

Razlika između rizika i hazarda sastoji se prevashodno u tome što rizik prethodi hazardu. Rizik je kombinacija vjerovatnoće događaja i njegovih negativnih posljedica. Metodologija za određivanje prirode i obima rizika utvrđuje se analizom potencijalnih hazarda i procjenom postojećih uslova ranjivosti koji zajedno mogu plauzibilno naštetiti izloženim ljudima, imovini, uslugama, sredstvima za život i okruženju od kojeg zavise (UNISDR, 2009).

Šumski požar podrazumijeva ne samo gorenje drveća u šumi, već se širi na propratni sadržaj, tj. na šumske prostirke, zahvatajući šumski "mrtvi" materijal, travu, lišće, humus, treset, korijenje drveta i drugog gorivnog materijala koji se može naći u šumi (IES, 2012). Ostavljajući za sobom od 200 do 500 miliona hektara izgorjele površine tokom godine, oni uzrokuju više štete od bilo kog drugog faktora sa negativnim dejstvom na šumske ekosisteme (Ichoku et al., 2008; Ratknić, 2018). Šume, žbunje i druga divlja područja služe najvažnijim životnim i ekološkim funkcijama. Regulisanjem klimatskih uslova, redukcijom erozije zemljišta, i, naravno, proizvodnjom kiseonika, igraju vitalnu ulogu u očuvanju javnog zdravlja, pritom pružajući mnoštvo mogućnosti za turizam i rekreaciju (FAO, 2005; Adaktylou et al., 2020).

Šumski požari su sve više rezultat antropogenog uticaja i savremenih klimatskih promjena. Učestalost i jačina šumskih požara i broj područja zahvaćenih požarima nesumnjivo će se povećati u budućnosti. Zbog toga je potrebno uložiti kako dodatne napore u cilju valjane informisanosti, tako i više znanja u inovativne strategije za smanjenje rizika od požara. Stoga su Geografski informacioni sistemi (GIS) efikasno sredstvo za geoprostornu analizu, što se pokazalo u dosadašnjem iskustvu (Šiljeg i sar., 2021).

1.1. Predmet istraživanja

Predmet ovog istraživanja je izrada GIS modela za kartiranje hazarda od šumskog požara, korišćenjem otvorenih geoprostornih podataka i softverskih rješenja otvorenog koda na primjeru crnogorske opštine Budva. Opština pripada primorskom regionu Crne Gore i ima sve geografske karakteristike mediteranskog područja.

1.2. Motiv i cilj istraživanja

Na području Mediterana požari oštete u prosjeku između 450 i 500 hiljada hektara šume godišnje (Turco et al., 2014; Akbulak et al., 2018). Njihov uticaj na fizičko i biološko okruženje je teško procijeniti; utiču na korišćenje zemljišta, zemljišni pokrivač, ekosisteme, biodiverzitet i na savremene klimatske promjene. Kao takvi, oni unekoliko određuju društveno-ekonomski sistem područja u kojima se pojavljuju (Adaktylou et al., 2020).

Dosadašnji sistem zaštite šuma od požara u Crnoj Gori, posebno u primorskom regionu Crne Gore, nije bio adekvatan. S obzirom na to da ne daje rezultate, moglo bi se bez bojazni zaključiti da je nefunkcionalan (MUP, 2021). Zbog toga je važno razviti optimalnu metodologiju i modele koji će pomoći u boljem planiranju i organizaciji zaštite šuma. Adekvatna zaštita zahtijeva procjenu hazarda od šumskih požara. Prema tome, rad ima za cilj izradu dovoljno pouzdanog (svakako i validiranog) modela za kartiranje hazarda od šumskog požara, koji neće imati ograničenja sa geoprostornim podacima i softverskim programima. Sekundarni cilj rada je kategorizacija hazarda od šumskog požara u Budvi.

1.3. Hipoteze

Iz postavljenih ciljeva istraživanja proizašle su sljedeće hipoteze:

H₁: Izrađeni model će nakon validacije pokazati dobru tačnost.

U metodološki sličnim istraživanjima, sa, razumije se, nešto drugačijim prirodnim i antropogenim kriterijumima, uz korišćenje komercijalnih ili otvorenih geoprostornih podataka, ovakvi modeli su nakon validacije pokazali zadovoljavajući nivo tačnosti (Gigović et al., 2018; Zeleke, 2019; Adaktylou et al., 2020; Šiljeg i sar., 2021). U radu će se saznati da li ovako izrađen model zadovoljava navedeni zahtjev.

H₂: Težinski koeficijenti odabranih kriterijuma, izvedenih pomoću AHP-a, značajno će uticati na izlazne rezultate modela.

Težinski koeficijenti za obračun indeksa hazarda od šumskog požara zavise od AHP-a. Postavljena hipoteza usklađena je sa hipotezama iz prethodnih istraživanja (Marić i dr., 2021; Šiljeg i sar., 2021), a u ovom radu će se takođe ispitati.

H₃: Preko 60% područja Budve biće u kategorijama visokog i veoma visokog hazarda.

Prema Nacionalnom planu zaštite od požara, a na osnovu prirodnih i antropogenih kriterijuma, Budva je klasifikovana u tri stepena ugroženosti, preciznije, u područja vrlo visoke, visoke i umjerene ugroženosti od šumskog požara (MUP, 2019). Osim toga, Budva ima sve geografske karakteristike mediteranskog područja, pa se smatra da izlazni rezultati modela, ukoliko žele da budu validni, treba da potvrde ovu hipotezu.

1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

Poznavanje prostorno referentnih budućih događaja na osnovu karte u životnoj sredini je od vitalnog značaja za adekvatno upravljanje prostorom. Tačne karte zahtijevaju informacije o vremenu i prostoru koje se osiguravaju preko geoprostornih tehnologija (Lim, 2018).

GIS i višekriterijumska analiza su integrisani i postaju sve popularniji metod za projektovanje modela u različitim oblastima primjene, kao što su (1) planiranje i upravljanje životnom sredinom; (2) modelovanje prirodnih hazarda, ranjivosti i rizika; (3) hidrologija i vodni resursi; (4) poljoprivreda i šumarstvo (Malczewski, 2006).

Posljednje dvije decenije GIS i višekriterijumska analiza, u kombinaciji sa metodom analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), bili su predmet intenzivnog istraživanja, koristeći se različitim prirodnim i antropogenim kriterijumima (Setiawan et al., 2004; Vadrevu et al., 2009; Gai et al., 2011; Ariapour & Shariff., 2014; Gigović et al., 2018; Akbulak et al., 2018; Akay & Sahin, 2019; Zeleke, 2019; Novo et al., 2020; Adaktylou et al., 2020; Hysa & Spalević, 2020; Hysa et al., 2021; Marić i dr., 2021; Šiljeg i sar., 2021). Ovi modeli su razvijeni u različitim geografskim uslovima na prostoru Evroazije posredstvom kombinacije otvorenih i komercijalnih geoprostornih podataka. Prethodno izrađeni modeli pokazali su dobru tačnost i u svim istraživanjima su validirani na osnovu istorijskih šumskih požara. Prilikom modelovanja rizika i hazarda od šumskog požara korišćene su različite grupe prirodnih (vegetacijski, topografski i klimatski) i antropogenih kriterijuma.

U nekim istraživanjima nijesu obrađeni klimatski kriterijumi (Setiawan et al., 2004; Ariapour & Shariff., 2014; Akay & Sahin, 2019; Adaktylou et al., 2020; Marić i dr., 2021), dok ima slučajeva da je zarad relevantnije analize klime kao kriterijuma korišćen tzv. Fire Weather Index (FWI) (Akbulak et al., 2018; Novo et al., 2020). Komercijalna LiDAR tehnologija našla je svoju primjenu u izradi vegetacijske i topografske grupe kriterijuma (Novo et al., 2020; Marić i dr., 2021). Prilikom modelovanja rizika od šumskog požara, Adaktylou et al. (2020) su koristili otvorene geoprostorne podatke za sve kriterijume.

Kod AHP-a najveći težinski koeficijent ima uglavnom vegetacijska grupa kriterijuma. Slijede je antropogena, zatim klimatska, i na kraju topografska grupa (Gai et al., 2011; Gigović et al., 2018; Zeleke, 2019; Novo et al., 2020; Adaktylou et al., 2020; Šiljeg i sar., 2021).

Većina modela iz prethodnih radova izrađena je za potrebe rizika od šumskog požara, znatno rjeđe za potrebe hazarda. Mnogo kompleksniji zadatak predstavlja procjena rizika, iako se u većini prethodnih radova koriste slični prirodni i antropogeni kriterijumi kao u ovom modelu. Uglavnom je zapostavljena procjena ugroženosti koja je veoma bitna komponenta za procjenu rizika (Gai et al., 2011; Zeleke, 2019).

2. TEORIJSKA OSNOVA

2.1. Nepogoda, katastrofa i hazard

Postoje različite definicije prirodnih nepogoda i katastrofa. Važno je istaći njihovu kauzalnost. Prirodne nepogode su pojave narušavanja stabilnosti prirodnih sistema djelovanjem prirodnih procesa, u posljednje vrijeme znatno modificovanih antropogenim uticajem u negativnom smislu. Ukoliko nanesu ogromne štete društvu, tj. naseljenom području, prirodne nepogode postaju prirodne katastrofe (Dragičević & Filipović, 2016).

Katastrofa predstavlja ozbiljno narušavanje funkcionisanja društva, uzrokujući velike ljudske, materijalne i ekološke gubitke koji prevazilaze sposobnost pogođenog društva da se nosi sa krizom oslanjajući se na sopstvene resurse (UNISDR, 2009).

Prema Perilovoj klasifikaciji, šumski požari su svrstani u klimatološke prirodne nepogode (IRDR, 2014). Prema klasifikaciji Dragičevića & Filipovića (2016), kao i kod Jakovljevića i sar. (2015), šumski požari svrstani su u biosferske nepogode. Hazard od šumskog požara se obično izračunava ili izražava kao potencijalno ponašanje požara (npr. intenzitet vatrene linije) ili na osnovu fizičko-hemijskih svojstava gorivnog materijala (npr. opterećenje ili biomasa) (UNISDR, 2017).

Donosioci odluka i službenici za gašenje požara treba da uzmu u obzir potencijal za hazard od šumskih požara kako bi (a) identifikovali lokalne prijetnje od šumskih požara i procijenili rizike za zajednicu; (b) edukovali i motivisali vlasnike kuća i zemljišta da im pomognu u donošenju odgovarajućih odluka o zemljištu, upravljanju i razvoju u područjima podložnim požaru (UNISDR, 2017).

2.2. Šumski požar

Šumski požar, kako je rečeno, podrazumijeva ne samo gorenje drveća u šumi, već i gorenje šumske prostirke, šumskog "mrtvog" materijala, trave, lišća, humusa, treseta, korijenja drveta, kao i drugog gorivnog materijala koji se može naći u šumi

(Slika 1). Jedan je od najdestruktivnijih činilaca koji može zadesiti šumski ekosistem (IES, 2012).

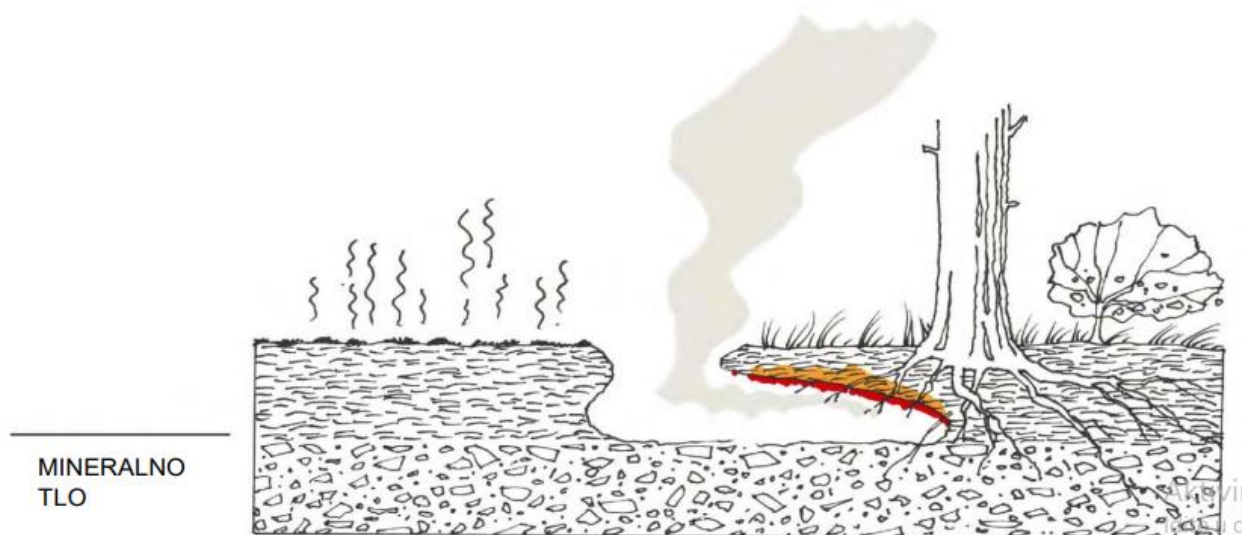


Slika 1. Šumski požar u Broćancu (Nikšić)

2.2.1. Vrste šumskih požara

Klasifikacije šumskih požara razlikuju se od zemlje do zemlje, mada su u Evropi već dugo vremena prihvaćene standardne podjele (Barčić i sar., 2020). Razlikuju se četiri vrste šumskih požara s obzirom na zemljišni sloj i mjesto šumske sastojine koju zahvata:

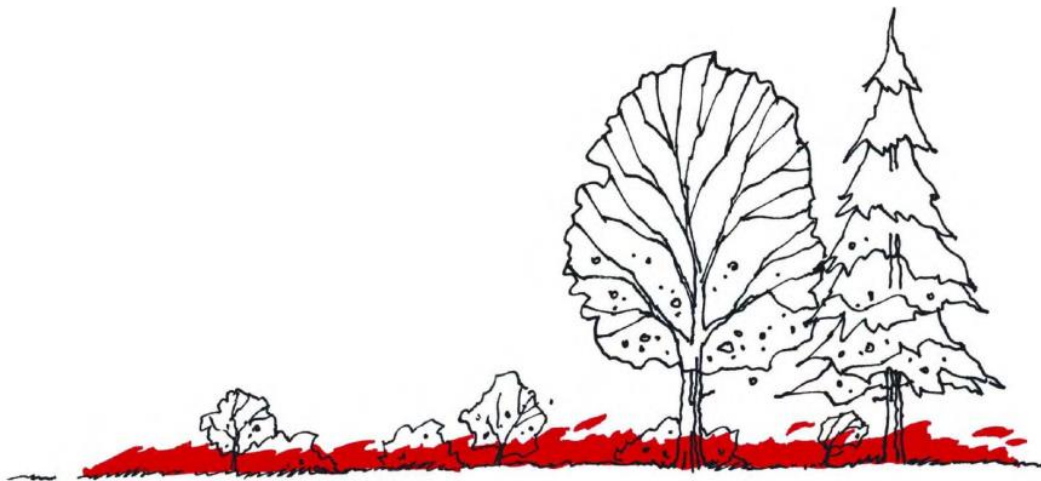
1. Podzemni požar ili požar tla (Slika 2) – nastaje paljenjem listova u tlu, treseta ili humusa koji se nalaze u podzemnim šumskim naslagama. Njegova osnovna karakteristika jeste da se sporo širi i da najveću štetu nanosi korijenju biljaka. Vrlo teško ga je primijetiti, i, gotovo u većini slučajeva – nemoguće spriječiti. Pri povoljnim vremenskim uslovima za razvoj požara može preći u prizemni požar (Dimitrov, 1987; Španjol, 1996; Ratknić, 2018).



Slika 2. Podzemni požar

Izvor: URL 1

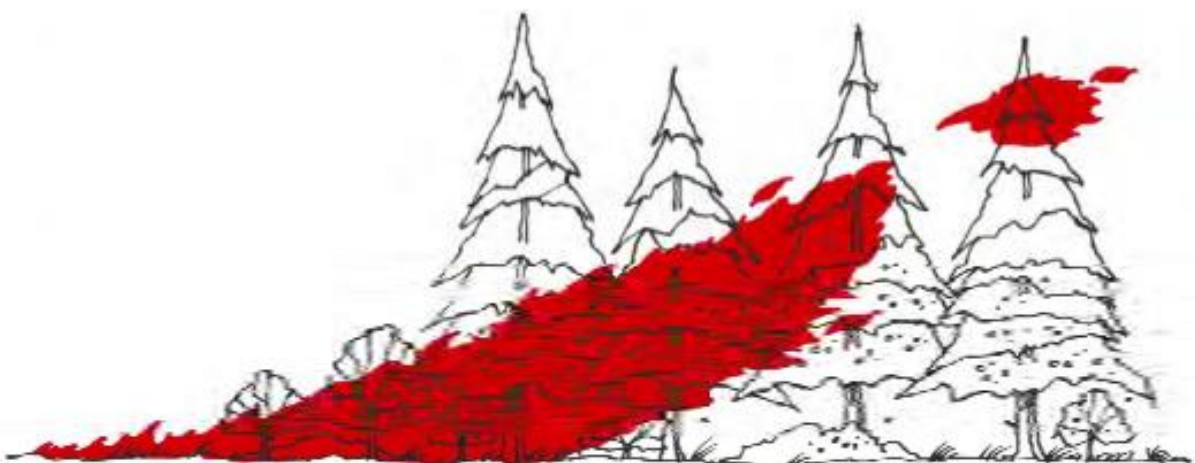
2. Prizemni požar (Slika 3) – nastaje kad se zapali travnata vegetacija ili gornji sloj šumske organske prostirke, podstojno grmlje i pomladak šumskog drveća. Ovo je i najčešći tip požara, koji se manifestuje kod svih vrsta prizemnog rastinja i u svim tipovima šuma. Jači prizemni požar u šumama gdje je drveće s tankom korom oštećuje žilište i stabla. Tada ugiba kambijum, dolazi do sušenja stabala, a mjestimično i cijele šumske sastojine (Dimitrov, 1987; Španjol, 1996).



Slika 3. Prizemni požar

Izvor: URL 1

3. Visoki požari ili požari krošnje drveća (Slika 4) – uglavnom nastaju iz prizemnih požara, naročito u četinarskim šumskim sastojinama. Najčešće praćeni jakim vjetrom, veoma se brzo šire, jer vatra brzo preskače sa jedne na drugu krošnju, i jako teško se gase. Prizemni požar u većini slučajeva predstavlja sastavni dio visokog požara. Visokim požarima najviše je podložna gusta i mlada četinarska šuma, kao i hrastova šuma sa dosta grmlja na suvim i uzvišenim mjestima. Visoki požari najčešće nastaju u ljetnjem periodu godine, kada zbog suše i jakog vjetra mogu potpuno da unište zahvaćeno drveće. Visoki požar se širi u velikim skokovima, što je povezano sa sagorijevanjem šumskog pokrivača na zemljištu (Dimitrov, 1987; Španjol, 1996; Ratknić, 2018).



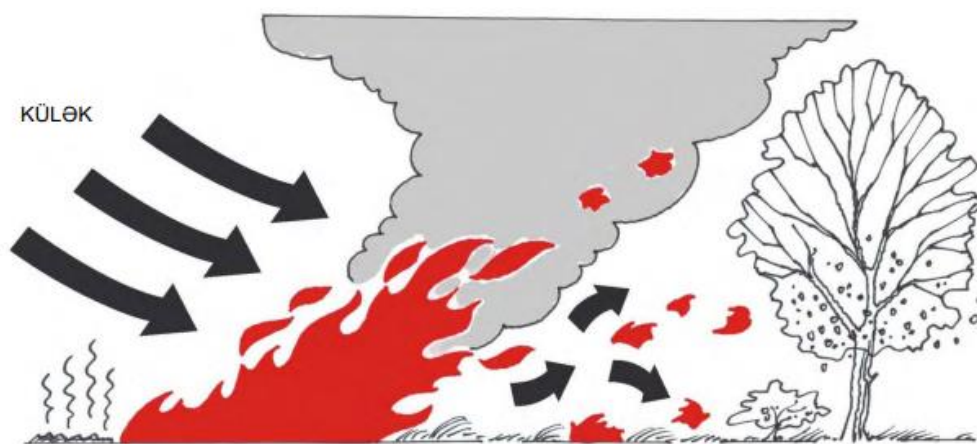
Slika 4. Visoki požari ili požari krošnje drveća

Izvor: URL 1

4. Požar osamljenog drveća i grmlja – generalno nastaje od udara groma i stabla tada čitava izgore. Često ga uzrokuje antropogeni faktor: pastiri, šumski radnici ili izletnici, ložeći vatru uz drveće ili u šupljinama stabala (Dimitrov, 1987; Španjol, 1996; Ratknić, 2018).

2.2.2. Oblici šumskih požara

Oblici požara mogu biti različiti i zavise od topografije (oblika terena), vegetacije (vrste gorivnog materijala) i klime (karakteristika vjetra). U zavisnosti od uticaja navedenih faktora (Slika 5), karakteristična su tri glavna oblika šumskih požara: kružni, eliptični i nepravilni. Kružni se javlja najčešće na ravnom terenu, kada nema vjetra i kada je homogen gorivni materijal. Eliptični oblik se javlja kada je teren strm, vjetar slab, a gorivni materijal heterogen. Nepravilni oblik se javlja kada je teren neujednačenog nagiba, izlomljen, a vjetar jak, i kada je gorivni materijal heterogen (Ratknić, 2018).



Slika 5. Uticaj vjetra na požar

Izvor: URL 1

2.2.3. Djelovi šumskog požara

Postoji niz termina koji se koriste za opisivanje dijelova šumskih požara (Slika 6). Razumijevanje osnovnih dijelova požara važno je za određivanje plana gašenja. Ti dijelovi uključuju:

- početak šumskog požara – mjesto gdje požar počinje i nastaje. Može (i ne mora) biti lak za identifikaciju;
- lađa šumskog požara – zadnji dio od početka požara;
- bočne strane šumskog požara – često su niskog do umjerenog požarnog ponašanja;
- front šumskog požara – prednji dio požara koji pokazuje najveći intezitet i najbržu stopu širenja na ostale djelove;
- prsti – uske grane požara koje napreduju, i imaju pravac širenja mimo i uzduž fronta, ili sa bočnih strana;
- džep – područje koje se nalazi ispred i duž fronta požara, ali i između prstiju, gdje se požar može javiti na tri strane;
- perimetar – spoljna ivica šumskog požara;
- požari na pojedinim tačkama (skokoviti šumski požari) – nova vrsta šumskog požara koji se zapale ispred ili izvan glavnog požara žarom ili drugim zapaljivim materijalom (Miloslavić 2004; Popović, 2017).



Slika 6. Djelovi šumskog požara

Izvor: URL 1

2.2.4. Uzroci nastanka šumskog požara

Dinamika događaja je takvog intenziteta da za 60 do 70% požara uzrok nastanka ostaje nepoznat ili upitan. Nažalost, uvidi u poznate uzroke su poražavajući. Svega 10% požara nastaje prirodno (udarom groma), a 90% je posljedica namjernog ili slučajnog antropogenog uticaja (nepažnja, paljenje i čišćenje poljoprivrednih ostataka i otpada, nesavjesni kamperi, paljenje raznih vrsta otpadnog materijala, bacanje opušaka od cigareta u prirodu, namjerno paljenje vegetacije, infrastrukture, vojnih otpada itd.). Požari koje uzrokuje munja su rijetki i imaju sezonski karakter, a najčešće se javljaju u predjelima koje karakteriše relativno suva ljetnja klima (Bertović, 1987; Tedim et al., 2015).

2.2.5. Geoprostorna i vremenska distribucija šumskih požara kao prirodnih katastrofa u svijetu

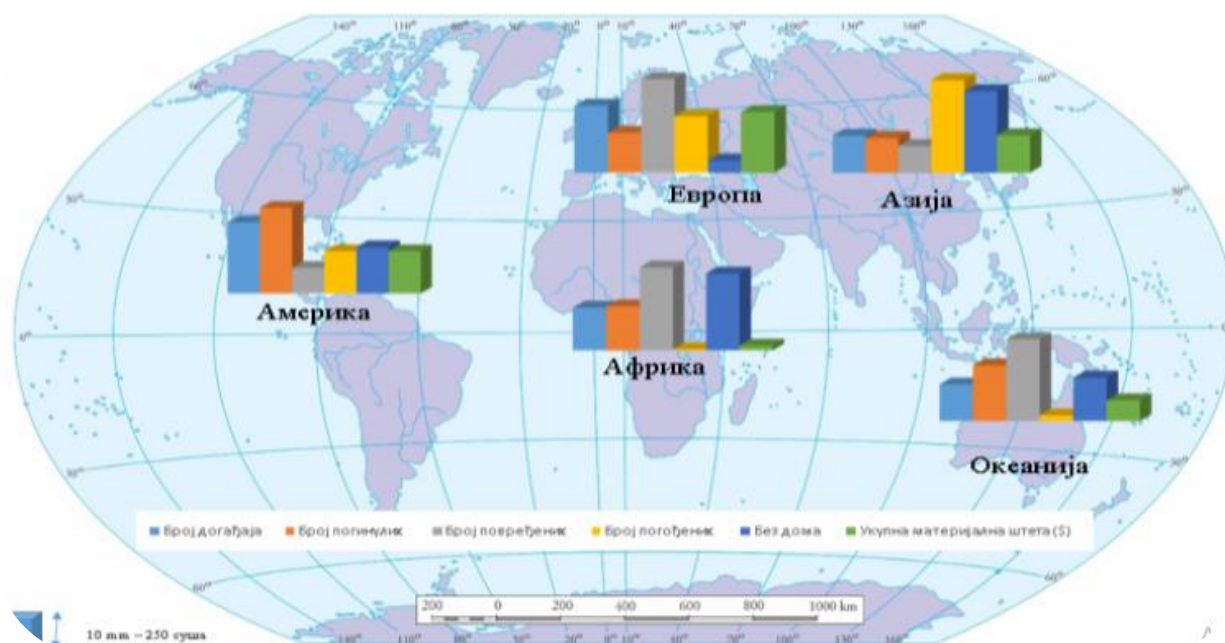
Kako bi se jedan prirodni događaj upisao u bazu podataka kao katastrofa potrebno je da budu ispunjeni neki kriterijumi: da je deset ili više ljudi poginulo, 100 ili više ljudi pogođeno, da je proglašena vanredna situacija i upućen poziv za međunarodnu pomoć. Prema geoprostornoj i vremenskoj analizi Cvetković i sar. (2016), distribucija šumskih požara kao prirodnih katastrofa u svijetu za period od 1900. do 2013. godine (Tabela 1) pokazuje da se najviše takvih požara dogodilo u Americi. Nju u negativnom trendu prati Evropa. Manje incidenata je zabilježeno u Aziji i Okeaniji, dok ih je najmanje bilo u Africi (Slika 7). Najviše poginulih bilo je takođe u Americi, zatim u Aziji, a najmanje opet u Africi. Kada se govori o broju povrijeđenih i pogođenih, najviše ih je bilo na Starom kontinentu i u Aziji, a najmanje na afričkom kontinentu.

Sudeći prema ovoj analizi, usljed posljedica šumskih požara najmanje ljudi bez doma ostalo je u Evropi, a najviše u Aziji. Statistički podaci o vremenskoj distribuciji pokazuju da su se u istraživanom periodu dogodila 742 požara (kao prirodne katastrofe), od čijih je posljedica poginulo 7.037 osoba, povrijeđeno njih 10.732, a pogođeno ukupno 11.525.769 ljudi. Bez krova nad glavom ostale su 363.282 osobe. Na godišnjem nivou događalo se 6,5 požara, mjesečno 0,5 i dnevno 0,01 požar.

Tabela 1. Pregled ukupnog broja šumskih požara kao prirodnih katastrofa i njihovih posljedica, u istraživanom periodu od 1900. do 2013, prema analizi Cvetković i sar. (2016).

Prostorna oblast	Broj događaja	Broj poginulih	Broj povrijeđenih	Broj pogođenih	Bez doma	Ukupno pogođenih	Ukupna šteta u \$
Afrika	54	548	1.516	18.570	47.658	67.744	880.000
Amerika	262	3.105	1.372	2.409.871	83.386	2.494.629	51.435.800
Azija	164	1.512	1.716	6.373.404	17.6570	6.551.690	23.807.000
Evropa	196	1.150	3.978	2.569.916	17.306	2.591.200	25.637.622
Okeanija	66	992	2.150	154.008	38.362	194.520	5.353.688
Ukupno	742	7.307	10.732	11.525.769	363.282	11.899.783	107.114.110

Izvor: Cvetković i sar., 2016



Slika 7. Karta prostorne distribucije šumskih požara kao prirodnih katastrofa u svijetu

Izvor: Cvetković i sar., 2016.

2.2.6. Šumski požari na području Mediterana

Tokom posljednjih decenija zabilježen je porast u broju šumskih požara i izgorjelih površina na širem području Mediterana, pa tako i u našoj zemlji, posebno u primorskom regionu (MUP, 2021). Povećan hazard prisutan je u svim područjima koja su pod uticajem mediteranske klime (Rosavec, 2010). Na Mediteranu šumski požari

oštete u prosjeku između 450 i 500 hiljada hektara šume godišnje (Turco et al., 2014; Akbulak et al., 2018).

Ovo područje je po svom biodiverzitetu i geodiverzitetu jedna od ključnih regija na svijetu. Šume Mediterana nalaze se na prelaznoj zoni između Evrope, Azije i Afrike, i spadaju među važnije vegetativne zajednice uopšte. Na Mediteranu nastanak šumskih požara je kombinacija prirodnih (vegetacijske karakteristike, topografija, klima) i antropogenih faktora. Dok požare manjeg intenziteta i razmjere možemo pripisati prirodnim faktorima i raznolikosti prirodnih uslova, broj velikih šumskih požara na ovom području drastično se povećava posljednjih decenija, najviše kao posljedica promjene načina korišćenja zemljišta i drukčijih društveno-ekonomskih karakteristika. Od ukupnog broja šumskih požara na Mediteranu, čak oko 95% je uzrokovano namjernim ili slučajnim antropogenim faktorom. Rapidno povećanje učestalosti požara dijametralno je suprotno sposobnostima ekosistema da se na ovom području prirodno regenerišu. Zato je u nekim mjestima došlo do narušavanja biodiverziteta i do intenziviranja erozije zemljišta (Rosavec, 2012).

U eri savremenih klimatskih promjena, najopakiju prijetnju po šumske ekosisteme predstavljaju upravo požari. Mediteransko područje je prema klimatološkim studijama pod stalnim hazardom od šumskih požara zbog povezanosti tople, suve klime sa ekstremnim vrućinama. Hazard i rizik od požara na otvorenom prostoru u stalnom su rastu (IPCC, 2007; Giannakopoulos et al., 2009; IPCC 2021).

Uprkos tome što mediteranske države ulažu znatan napor i trud ne bi li se unaprijedila tehnika zaštite od šumskih požara, izdvajajući pritom velika finansijska sredstva u programe edukacije, promjena na bolje još nema (Rosavec, 2012).

2.2.7. Šume i šumski požari u Crnoj Gori

Šumski pokrivač Crne Gore se nalazi iznad evropskog (46%) i svjetskog prosjeka (30%). Po procentu šumovitosti Crna Gora je na vrhu skale u Evropi. Šumama je pokriveno 59,9% ili 826.782 ha površine, pod šumskim zemljištem nalazi se 9,8% teritorije ili 137.480 ha. Oko 51% šuma je u državnom, a 49% u privatnom vlasništvu.

Dominantno zastupljene lišćarske vrste drveća su bukva i hrast. Od četinarskih vrsta izdvajaju se smrča, jela i bor, a ukupno je evidentirano 59 lišćarskih i 12 četinarskih vrsta. Proglašenjem Crne Gore za ekološku državu, pitanje očuvanja šumskih ekosistema kao ekološkog resursa od vitalnog je značaja (MUP, 2021).

Šumski požari su sve učestaliji, a pretežno su vezani za sušni ljetni period godine i uslovljeni su, sem klimatskih uslova, vegetacijom, topografijom i antropogenim faktorom. Evidenciju o šumskim požarima za Crnu Goru prema područnim jedinicama vodi Uprava za šume, gdje se podaci obračunavaju na godišnjem nivou (Tabela 2). U periodu od 2010. do 2020. godine zabilježen je 1001 šumski požar. U rekordnoj 2012. šumski požari su zahvatili 7% od ukupne površine šuma. Sezona šumskih požara najgora je bila u 2017. godini. Evidentirana su 154 požara površine veće od 30 ha koji su zahvatili ukupno 51.661 ha, što je šest puta više od evidentirane površine za 2016. godinu (MUP, 2021).

Tabela 2. Broj šumskih požara u Crnoj Gori prema područnim jedinicama (po godinama, od 2010. do 2020).

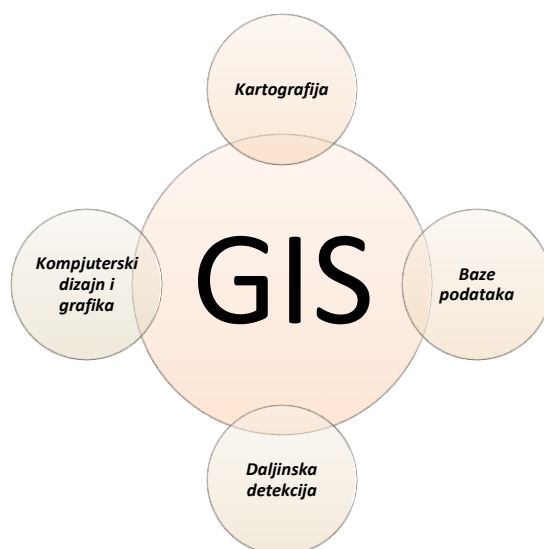
Područna Jedinica	Pijevlja	Rožaja	Berane	Plav	Bijelo Polje	Žabljak	Kolašin	Andrijevica	Plužine	Šavnik	Danilovgrad	Podgorica	Niškić	Mojkovac	Kotor	Perućica	Gusinje	Ukupno
2010	19	8	0	0	3	0	1	0	3	0	0	1	4	2	4	0	0	45
2011	20	6	12	5	0	0	25	0	0	1	16	12	4	2	18	0	0	121
2012	37	21	18	0	15	3	9	0	8	5	0	1	10	30	3	0	0	160
2013	6	1	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0	4	2	0	0	0	25
2014	12	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
2015	16	0	8	5	1	0	14	0	4	3	0	10	12	0	10	0	0	83
2016	15	0	15	3	0	0	4	0	4	15	6	0	9	1	1	0	0	73
2017	39	7	3	2	6	4	7	0	8	1	16	14	17	2	23	0	5	154
2018	8	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	1	0	18
2019	14	1	3	2	25	0	8	0	10	1	6	3	0	0	3	5	1	82
2020	36	18	3	1	36	2	32	7	14	12	9	3	27	5	2	8	5	220
Ukupno	222	63	74	23	86	9	100	7	57	38	53	46	87	44	67	14	11	1001

Izvor: MUP, 2021.

2.3. Osnovno o Geografskim informacionim sistemima (GIS)

Geografski informacioni sistemi (GIS) su nastali iz međusobno povezanih aktivnosti u okviru četiri različite discipline (Slika 8):

- kartografije – koja je imala za cilj da napravi automatski proces izrade karata, zamjenom crteža i skica vektorskom digitalizacijom;
- kompjuterskog dizajna i grafike – koji su imali brojne softvere za digitalne vektorske podatke van kartografije, posebno u dizajnu mašina, građevina i industrijskih postrojenja;
- daljinske detekcije – koja je stvorila veliki broj digitalnih prostornih podataka;
- baza podataka – koje su kreirale opšte matematičke strukture, kadre da rješavaju probleme predstavljene računarskom grafikom i kartografijom (Konecny, 2003; Jovanović i sar., 2012).



Slika 8. Međusobni odnos između različitih disciplina i GIS-a

Izvor: Konecny, 2003.

Istorija GIS-a počinje izradom kompjuterizovanog kartografskog modela od strane Volda Toblera, poznatog pod imenom MIMO (map in-map out), koji se zasniva na geokodiranju, prikupljanju prostornih podataka, analizi i prikazivanju (Jovanović i

sar., 2012). Rodžer Tomilson, koji se naziva „ocem GIS-a“, razvija Kanadski geografski informacijski sistem 1968. godine za potrebe poljoprivredne agencije. Isključivo naučni razvoj GIS-a tokom 70-ih i 80-ih godina dobija komercijalnu ulogu (Coppock & Rhind 1991). Devedesetih godina naglo širenje GIS tehnologija zahvatilo je širok spektar djelatnosti, pružajući korisnicima snažno virtuelno okruženje koje pomaže u razumijevanju prostornih odnosa i pojava (Tompson & Kennedy 2013). Mogućnosti GIS-a određene su kvalitetom (sadržajem i preciznošću) prikupljenih podataka, ugrađenim alatima i ekstenzijama (Roland et al., 2015).

Definicije GIS-a su zaista raznolike i zavise od veza sa potrebama korisnika. Za potrebe ovog rada najprikladnija je formulacija Fischera & Nijkampa (1992) koja GIS definiše kao kompjuterski sistem koji prikuplja, skladišti, analizira i prikazuje prostorne entitete, kao i njihove atribute zarad rješavanja kompleksnih istraživačkih, projektantskih i upravljačkih problema.

2.3.1. Mogućnosti GIS-a u vatrogastvu i upravljanju požarima

Misija vatrogasaca i vatrogasnih službi je zaštita života, imovine i prirodnih resursa od požara i drugih nepogoda. Vatrogasci zbog prirode svog posla u kontinuitetu prikupljaju informacije, koristeći različite izvore. Te informacije često nisu dobro organizovane i nalaze se u neuređenim bazama podataka različitih formata, što značajno smanjuje (ili onemogućuje) učinkovitu primjenu i ažuriranje. Zbog sve većih zahtjeva, vatrogasna služba mora optimalno da koristi alate, tehnike, modele i metode koje ima na raspolaganju kako bi se ispunila očekivanja javnosti i donosioca odluka. Upravljanje rizikom i hazardom, spremnost i ublažavanje dobili su novi značaj zbog nepogoda sa kojima se savremeni svijet danas suočava. Do efikasnog odgovora se ne može stići bez planiranja i pripremljenosti. Jedan od novijih alata koji pomaže vatrogasnoj službi da optimizuje pružanje hitnih službi je GIS tehnologija. GIS podržava planiranje, pripravnost, reagovanje na nepogode i katastrofe, upravljanje jednim i drugima; proširuje horizont mogućnosti inteligentnim i interaktivnim kartama, sa pristupom svim vrstama informacija, podataka i analiza. Još važnije, GIS pruža informacije kada, gdje i kako su one potrebne (ESRI, 2006; Roland i sar., 2015).

2.4. Otvoreni geoprostorni softveri i podaci

U posljednje dvije decenije, softver otvorenog koda postaje veoma popularan u GIS domenu. Softver otvorenog koda je kompjuterski softver koji se izdaje pod licencom u kojoj nosilac autorskih prava daje korisnicima prava da koriste, proučavaju, mijenjaju i distribuiraju softver i njegov izvorni kod bilo kome i za bilo koju svrhu. GIS softver otvorenog koda promovišu mnoge međunarodne organizacije kao što su FOSS4G, FreeGIS.org ili OSGeo fondacija (Laurent, 2004).

Geoprostorni podaci su podaci direktno ili indirektno vezani sa određenom prostornom komponentom ili geografskom oblašću. Prostorne fenomene opisujemo sa rasterskim, vektorskim i atributivnim podacima. Ovi podaci su dostupni iz različitih izvora. Često postoje u standardizovanim GIS formatima koji se mogu generisati iz geodetskog premjera, daljinske detekcije, laserskog skeniranja, ili se mogu dobiti korišćenjem GIS metoda (npr. digitalizacijom postojećih papirnih karata i planova) i tabelarnih podataka (npr. podataka o popisu po opštinama i prostornih podataka koji definišu granice opština, moguće je povezati ih i time dobiti prostorne podatke o popisu stanovništva) (Kilibarda & Protić, 2018).

Pojam otvorenih podataka zasniva se na konceptu da su podaci dostupni svima bez ograničenja za upotrebu, prenamjenu i ponovno objavljivanje. Ovaj pristup sličan je dobro uspostavljenim konceptima otvorenog sadržaja ili otvorenog koda. Otvoreni podaci nisu bez autorskih prava, ali su otvoreno dostupni široj javnosti pod neograničavajućim licencama (Open Definition, 2014). Na URL 2 dostupno je preko 500 sajtova sa kojih se mogu preuzeti otvoreni geoprostorni podaci.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Osnovne karakteristike istraživanog područja

Opština Budva se nalazi u južnom, primorskom regionu Crne Gore (Slika 9). Primorski region ima sve tipične geografske karakteristike mediteranskog područja. Položaj Budve je izuzetno povoljan i zato se ona određuje kao jedna od najvažnijih turističkih destinacija u ovom dijelu Jadrana, što potvrđuje i analiza Miloševića (2017). Nalazi se između geografskih dužina 18°47'-18°49' E i geografskih širina 42°15'-42°21' N. Površina opštine je oko 120 km². U opštini ima 19.218 stanovnika (AG Infoplan, 2007).

Tereni su složenog stratigrafskog i litološkog sastava. Te terene grade sedimentne stijene mezozoika i kenozoika (Živaljević, 1989). U pogledu morfoloških karakteristika, na teritoriji opštine razlikujemo tri vertikalne visinske zone: obalni pojas (do 100 m), obalnu zonu fliša (od 100 m do 500 m) i Lovćensku barijeru (padine i površine Lovćena, od 500 m do 1400 m) (AG Infoplan, 2007).

Na osnovu Kepenove klasifikacije, predmetnu oblast karakterišu klimatski podtipovi: Csa – sredozemna klima sa vrućim ljetom; Cs/s"/b – prelazna varijanta etezijske klime s toplim ljetom; i Cfb – umjereno topla, vlažna klima s toplim ljetom (Burić i sar., 2014).

Na području opštine prisutna je eumediteranska zimzelena vegetacija, sa kontaktnom zonom koju čine termofilne submediteranske listopadne šume (AG Infoplan, 2007; Čurović et al., 2021).

Budva je klasifikovana u prvi, drugi i treći stepen ugroženosti, tj. u područje vrlo visoke, visoke i umjerene ugroženosti od šumskog požara. Površinska zastupljenost u odnosu na kategorije ugroženosti data je u Tabeli 3 (MUP, 2019).

U studiji procjena rizika od katastrofa u Crnoj Gori, podaci o učestalosti šumskih požara i broju požara za prostor Budve su dati za PJ Kotor (MUP, 2021).

Tabela 3. Stepen ugroženosti šuma u Budvi

Opština	Šume (ha)	Stepen ugroženosti		
		I	II	III
Budva	5.150	690	2.840	1.620

Izvor: MUP, 2019.



Slika 9. Karta položaja opštine Budva

3.2. Ulazni otvoreni geoprostorni podaci za potrebe modela

3.2.1. Zemljišni pokrivač Corine Land Cover

Često se korišćenje zemljišta i zemljišni pokrivač neopravdano miješaju kao da su međusobno zamjenljivi pojmovi. Korišćenje zemljišta se odnosi na način na koji su ljudi koristili zemljište i staništa (primjeri uključuju stambene kuće za više porodica, tržne

centre, međugradske usjeve, rasadnike drveća, državne parkove, rezervoare itd.). Sem podataka sa satelitskih snimaka, za određivanje adekvatnog korišćenja zemljišta potrebno je više relevantnih prostornih podataka na osnovu kojih možemo zaključiti kako je korišćeno zemljište i kako se koristi. Nasuprot tome, zemljišni pokrivač se odnosi na fizičke karakteristike zemljine površine, koje se određuju pomoću satelitskih snimaka (primjeri uključuju šume, močvare, razvijena/izgrađena područja, travnjake, vode itd.) (Valjarević et al., 2014; Milanović i sar., 2020).

Određivanje prostornih podataka o zemljišnom pokrivaču sa visokom geometrijskom i tematskom tačnošću uglavnom je ograničeno (ne)dostupnošću odgovarajućih podataka daljinske detekcije u smislu prostorne i vremenske rezolucije, i tehnikama digitalne analize slike. Glavni korak istraživanja svakako jesu kvalitetni prostorni podaci koji nam omogućavaju relevantnu prostornu analizu (npr. LIDAR), čiji su (izuzetno visoki) troškovi ograničavajući faktor za većinu istraživanja (Herold, 2002).

Prilikom analize promjene zemljišnog pokrivača uglavnom se koriste otvoreni satelitski snimci za posmatranje Zemlje (Valjarević i Živković, 2016). Jedna od najvažnijih i najčešće korišćenih geoprostornih baza u Evropi na osnovu koje se mogu pratiti promjene zemljišnog pokrivača je CORINE Land Cover (CLC). CLC geoprostorna baza pokrenuta je 1985. godine (referentna godina 1990), a projektom koordinira Evropska agencija za životnu sredinu (EEA). Broj zemalja koje učestvuju u projektu se stalno povećavao, od početnih 29 do sadašnjih 39. Prva CLC baza podataka odnosila se na početnu 1990. godinu; podaci su naknadno ažurirani 2000, 2006, 2012. i 2018 (baze podataka se dodatno ažuriraju na svakih šest godina). Nacionalni instituti i centri kreiraju nacionalne CLC baze u koordinaciji sa EEA. Paralelno sa zemljama članicama, EEA sarađuje sa zemljama Zapadnog Balkana, pa tako i sa Crnom Gorom, koja od 2002. participira u EIONET mreži (na sličnom nivou kao i kod članova EEA). U okviru aktivnosti koje su finansijski pokrivene CARDS programom REReP (2001-2006), djelatnosti CLC projekta proširene su na Crnu Goru (tada još uvijek u zajednici sa Srbijom), sa ciljem da se dovede na isti nivo participacije sa ostalim evropskim zemljama kada je riječ o procjeni resursa zemljišnog pokrivača (Nestorov i Protić 2006; Radusinović i sar., 2011).

CLC nomenklatura se sastoji od tri nivoa (Tabela 4): prvi nivo (5 klasa) označava glavne kategorije zemljišnog pokrivača; drugi nivo (15 subklasa) je za upotrebu u razmjerama od 1:500.000 i 1:1.000.000; treći nivo (44 subklase) je za upotrebu u razmjeri 1:100.000. Tačnost satelitskih snimaka kreće se u rasponu od 10 m do 50 m. Geometrijska tačnost CLC-a je 100 m. Minimalna jedinica kartiranja za CLC je 25 hektara za poligone, a minimalna debljina linije za linijske entitete je 100 metara. Tematska tačnost je $\geq 85\%$. Osnovno pravilo kod kartiranja promjena bilo je da se identifikuju one veće od 5 ha, šire od 100 m (URL 3).

Tabela 4. Legenda za klase zemljišnog pokrivača prema Corine Land Cover 2018. za Crnu Goru

Kod	Tipovi zemljišnog pokrivača	Kod	Tipovi zemljišnog pokrivača
1.	Izgrađene površine	3.	Šume i poluprirodna područja
1.1.2.	Diskontinuirana urbana područja	3.1.1.	Listopadne šume
1.2.1.	Industrijske ili komercijalne jedinice	3.1.2.	Četinarske šume
1.2.4.	Aerodromi - aerodromske instalacije: piste,	3.1.3.	Mješovite šume
1.3.1.	Mjesta eksploatacije mineralnih sirovina	3.2.1.	Prirodni pašnjaci
1.3.2.	Odlagališta otpada	3.2.3.	Mediterranska sklerofilna vegetacija
1.3.3.	Gradilišta	3.2.4.	Prelazno područje šume i žbunja
1.4.1.	Zelene gradske površine	3.3.1.	Plaže, dine i pijesak
1.4.2.	Sportsko-rekreativne površine	3.3.2.	Gole stijene
2.	Poljoprivredne površine	3.3.3.	Područja s oskudnom vegetacijom
2.1.1.	Nenavodnjavano obradivo zemljište	3.3.4.	Opožarena područja
2.2.1.	Vinogradi	4.	Močvare
2.3.1.	Pašnjaci	4.1.1.	Kopnene močvare
2.4.2.	Mozaik poljoprivrednih površina	5.	Vodene površine
2.4.3.	Pretežno poljoprivredno zemljište sa značajnim udjelom prirodne vegetacije	5.1.1.	Vodotoci
		5.1.2.	Vodene površine

Izvor: URL 4

3.2.2. Digitalni model reljefa (DMR) EU-DEM

Digitalni model reljefa (DMR) je digitalni statistički model terena sa nizom poznatih x , y i z koordinata unutar proizvoljno odabranog sistema (Miller & Laflamme,

1958). Proces stvaranja DMR-a započinje odabirom jedne od metoda prikupljanja visinskih podataka, uzorkovanjem tačaka sa specifičnom tačnošću, gustinom i raspodjelom. Nakon toga slijedi prostorna interpolacija prikupljenih podataka u softverskim programima, čime se konačno dobijaju kontinuirani kvantitativni podaci o terenu (Hengl et al., 2008; Šiljeg i sar., 2018).

Otvoreni DMR podaci srednje rezolucije (ASTER, SRTM, AW3D30, EU-DEM) unaprijedili su geomorfometrijske analize u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju. Posljednju deceniju karakteriše postojanje mnoštva geoportala sa kojih se mogu preuzeti besplatni DMR podaci srednje rezolucije (Šiljeg i sar., 2018).

EU-DEM je model Evropske agencije za zaštitu životne sredine, koji pokriva prostor 27 zemalja članica Evropske unije i 6 saradničkih zemalja (Bashfield & Keim, 2011). Model je srednjeg kvaliteta, sa prostornom rezolucijom od 25 m. Ima slične karakteristike kao modeli srednje rezolucije ASTER i SRTM. Validacija EU-DEM-a, zbog vertikalnih svojstava i radijskog korišćenja sa podacima SRTM-a i ASTER-a, pokazuje da ovaj model ima veću vertikalnu tačnost i poboljšane hidrološke parametre (Bashfelid & Keim, 2011; Mouratidis & Ampatzidis, 2019). Tačnost EU-DEM-a vrednovana je upotrebom različitih referentnih vrijednosti, poput trigonometrijskih tačaka, LIDAR podataka i NEXTmap podataka. Približna vrijednost kvadratne greške za vertikalnu tačnost EU-DEM-a je oko 7 m (Bashfelid & Keim, 2011; Mouratidis & Ampatzidis, 2019). Podaci su preuzeti sa geoportala (URL 5) u okviru Copernicus programa.

3.2.3. Digitalni model temperature i padavina

Geoprostorni podaci visoke rezolucije o klimatskim uslovima od suštinskog su značaja za primjenu u životnoj sredini i ekološkim naukama (Karger, 2017). Kako bi se izradio digitalni model temperature i padavina, korišćeni su podaci o prosječnim godišnjim vrijednostima Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore sa svih klimatoloških stanica u Crnoj Gori, u periodu 1961-2013. Za potrebe modelovanja i dobijanja rasterskih podloga korišćen je softver otvorenog koda SAGA GIS (URL 6). Digitalni model temperature dobijen je korišćenjem metode regresionog kriginga, dok je za izradu digitalnog modela padavina korišćen obični kriging. U svrhu kartiranja

hazarda od šumskog požara digitalni model temperature i padavina isječen je u granicama opštine Budva.

3.2.4. OpenStreetMap i Geofabrik

OpenStreetMap (URL 7) je projekat za izgradnju besplatne geografske baze geoprostornih podataka iz cijelog svijeta. Njegov cilj je da ima evidenciju o svakom pojedinom geografskom obilježju na svijetu. Iako je sve počelo sa kartiranjem ulica, već je otišlo daleko i uključilo pješačke staze, zgrade, vodene puteve, cjevovode, šume, plaže, poštanske sandučice, pa čak i pojedinačna stabla. Uz fizičku geografiju, projekat uključuje i administrativne granice, informacije o korišćenju zemljišta, autobuske rute i druge detalje koji nijesu vidljivi iz samog pejzaža (Bennett, 2010).

Geofabrik smatra da su podaci iz projekta OpenStreetMap zanimljivi i komercijalnim korisnicima. Ambicija mu je da pomogne klijentima u razumijevanju OpenStreetMap-a i da bude podrška u korišćenju podataka (URL 8).

3.3. Metodologija izrade modela

Poznato je da se u radu izrada modela za kartiranje hazarda od šumskog požara zasniva na Geografskim informacionim sistemima i metodi višekriterijumske analize, u kombinaciji sa metodom analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP). Cijeli proces GIS višekriterijumske analize implementiran je u softveru otvorenog koda QGIS 3.14 (URL 9). AHP je sa svoje strane uključen u LibreOffice Calc 7.2. (URL 10) softver, koji je takođe otvorenog koda.

3.3.1. GIS višekriterijumska analiza

Višekriterijumska analiza (engl. Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA) može da se definiše kao skup formalnih pristupa koji se fokusiraju na ključne kriterijume pri

donošenju odluka (Greene et al., 2011). Cilj višekriterijumske analize jeste pomoći donosiocima odluka u organizovanju i sintetizovanju podataka kako bi mogli opravdati svoju konačnu odluku. Osim toga, ova analiza pruža sistemsku metodologiju gdje se mogu kombinovati različiti tipovi ulaznih podataka i stavova donosioca odluka u procesu rangiranja kriterijuma (Huang et al., 2011; Domazetović, 2018, 2021; Marić, 2020).

Poseban tip višekriterijumske analize predstavlja njena integracija sa GIS-om. Tako se GIS višekriterijumska analiza može definisati kao proces transformacije i kombinovanja geoprostornih podataka u svrhu dobijanja novih informacija, koje imaju vrijednost u donošenju odluka. Međusobno poređenje i vrednovanje uticaja više različitih kriterijuma određuje pogodnost ili podložnost određenog prostora nekoj pojavi ili procesu (Malczewski, 2015; Domazetović, 2018). GIS višekriterijumska analiza je sve popularniji metod u obradi za projektovanje modela u različitim oblastima primjene, kao što su planiranje i upravljanje životnom sredinom, modelovanje prirodnih hazarda, hidrologija i vodni resursi, poljoprivreda i šumarstvo (Malczewski & Rinner, 2015).

GIS višekriterijumska analiza bila je predmet intenzivnog istraživanja posljednje dvije decenije, i u kontinuitetu je uključivala različite prirodne i antropogene kriterijume (Setiawan et al., 2004; Vadrevu et al., 2009; Gai et al., 2011; Ariapour & Shariff., 2014; Gigović et al., 2018; Akbulak et al., 2018; Akay & Sahin, 2019; Zeleke, 2019; Novo et al., 2020; Adaktylou et al., 2020; Marić i dr., 2021; Šiljeg i sar., 2021).

Postupak GIS višekriterijumske analize u ovom radu zasniva se na šest koraka (Slika 10): postavljanju cilja višekriterijumske analize/definisaniu problema; određivanju kriterijuma; standardizaciji vrijednosti kriterijuma; određivanju težina kriterijuma; rezultatima analize (objedinjavanju standardizovanih vrijednosti i težina kriterijuma); i na validaciji rezultata (Eastman, 1999; Domazetović et al., 2019).



Slika 10. Tok primjene višekriterijumske GIS analize

Izvor: modificovano prema Eastman, 1999; Domazetović et al., 2019.

3.3.1.1. Postavljanje cilja višekriterijumske analize/definisanje problema

Osnova svake GIS višekriterijumske analize jeste postavljanje cilja, odnosno određivanje problema u prostoru koji se nastoji riješiti implementacijom analize. Postavljeni cilj, da bi bio ostvarljiv, mora biti SMART (URL 11), što će reći da ima biti određen (specific - S), mjerljiv (measurable - M), ostvarljiv (attainable - A), relevantan (relevant - R) i vremenski ograničen (time-bound - T) (eng. - SMART - pametan) (Domazetović 2018, 2019, 2021).

3.3.1.2. Određivanje kriterijuma

Da bi se GIS višekriterijumska analiza mogla sprovesti, potrebno je odabrati kriterijume i ograničenja. Važno je napomenuti da postoje dva tipa kriterijuma kod GIS višekriterijumske analize (Eastman, 1999). Prvi tip kriterijuma (za potrebe višekriterijumske analize) implementiran je prema karakteristikama istraživanog

područja, ekspertskom mišljenju rukovodilaca Sektora za planiranje i logistiku u Službi zaštite i spašavanja opštine Budva (Miladinović, 2022) i na osnovu pregleda referentne literature (Setiawan et al., 2004; Vadrevu et al., 2009; Gai et al., 2011; Ariapour & Shariff., 2014; Gigović et al., 2018; Akbulak et al., 2018; Akay & Sahin, 2019; Zeleke, 2019; Novo et al., 2020; Adaktylou et al., 2020; Marić i dr., 2021; Šiljeg i sar., 2021). Drugi tip kriterijuma predstavlja isključujuće kriterijume koji nisu potrebni i relevantni za analizu (Eastman, 1999).

3.3.1.3. Standardizacija vrijednosti kriterijuma

Standardizacija vrijednosti za sve kriterijume izvršena je metodom vrednovanja, u numeričkom intervalu od 1 (veoma nisko) do 5 (veoma visoko), gdje se za svaku klasu posebno određuju rasponi vrijednosti. Kao i kod određivanja kriterijuma, standardizacija vrijednosti je izvršena na osnovu karakteristika istraživanog područja, ekspertskog mišljenja (Miladinović, 2022) i na osnovu pregleda referentne literature (Setiawan et al., 2004; Vadrevu et al., 2009; Gai et al., 2011; Ariapour & Shariff., 2014; Gigović et al., 2018; Akbulak et al., 2018; Akay & Sahin, 2019; Zeleke, 2019; Novo et al., 2020; Adaktylou et al., 2020; Marić i dr., 2021; Šiljeg i sar., 2021).

3.3.1.4. Određivanje težina kriterijuma

Za određivanje težinskih koeficijenata koristi se više metoda, ali je za potrebe izrade modela korišćen najprikladniji analitički hijerarhijski proces (AHP) koji je formulisao Tomas Sati (1990). AHP složene komponente GIS višekriterijumske analize dijeli na manje komponente i ređa ih u hijerarhiju. Ove komponente predstavljaju podrazumijevane kriterijume u poređenju sa drugima koristeći matično poređenje parova kriterijuma, a rezultat tog poređenja je skup kriterijuma prioriteta (Saaty, 2008). Interval brojeva 1 – 9 odabran je za kriterijume poređenja, koji pokazuje koliko je puta jedan kriterijum važniji ili dominantniji u odnosu na drugi kriterijum (Tabela 5).

Tabela 5. Fundamentalna skala

Intezitet važnosti	Definicija
1	Jednaka važnost
3	Umjerena važnost jednog nad drugim
5	Bitan ili jak značaj
7	Veoma jaka važnost
9	Ekstremna važnost
2, 4, 6, 8	Srednje vrijednosti

Izvor: Saaty, 1990.

Konzistentnost parne matrice se provjerava prema formulama (Saaty, 1990):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

Gdje je CR odnos konzistentnosti, CI je indeks konzistentnosti. RI je indeks slučajne konzistencije (Tabela 6). Najveća vrijednost u prosjeku dijeljenja zbira težina je λ_{max} , a n je broj kriterijuma. Indeks slučajne konzistentnosti zavisi od broja kriterijuma u konstruisanoj matrici i za svaki broj kriterijuma je različit. Ako je vrijednost koeficijenta konzistentnosti $\leq 0,1$ nedosljednost je prihvatljiva, a ako je $> 0,1$, onda bi trebalo izvršiti reviziju jer konzistentost nije dobra (Saaty, 1990).

Tabela 6. Vrijednosti za RI

Size of Matrix	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Izvor: Saaty, 1990.

3.3.1.5. Rezultati analize (objedinjavanje standardizovanih vrijednosti i težina kriterijuma)

Karta sa konačnim rezultatima analize izvedena je metodom težinske linearne kombinacije (Eastman, 1999). Metoda se izvodi u rasterskom kalkulatoru prema sljedećoj formuli:

$$FHI = \sum w_i * x_i * \prod E$$

FHI je indeks hazarda od šumskog požara u slučaju ovog modela, w_i težinski koeficijent kriterijuma, x_i vrijednost standardizovanih kriterijuma, E kriterijum isključenja procijenjen na osnovu Boleanovog logičkog principa sa vrijednošću 0.

Vrijednosti FHI se nalaze u istom rasponu ocjena kao i kriterijumi od 1 do 5. Dobijene vrijednosti su klasifikovane u veoma nisku (1), nisku (2), umjerenu (3), visoku (4) i veoma visoku (5) kategoriju hazarda. Na kraju je izrađena karta hazarda prema kategorijama hazarda od šumskog požara.

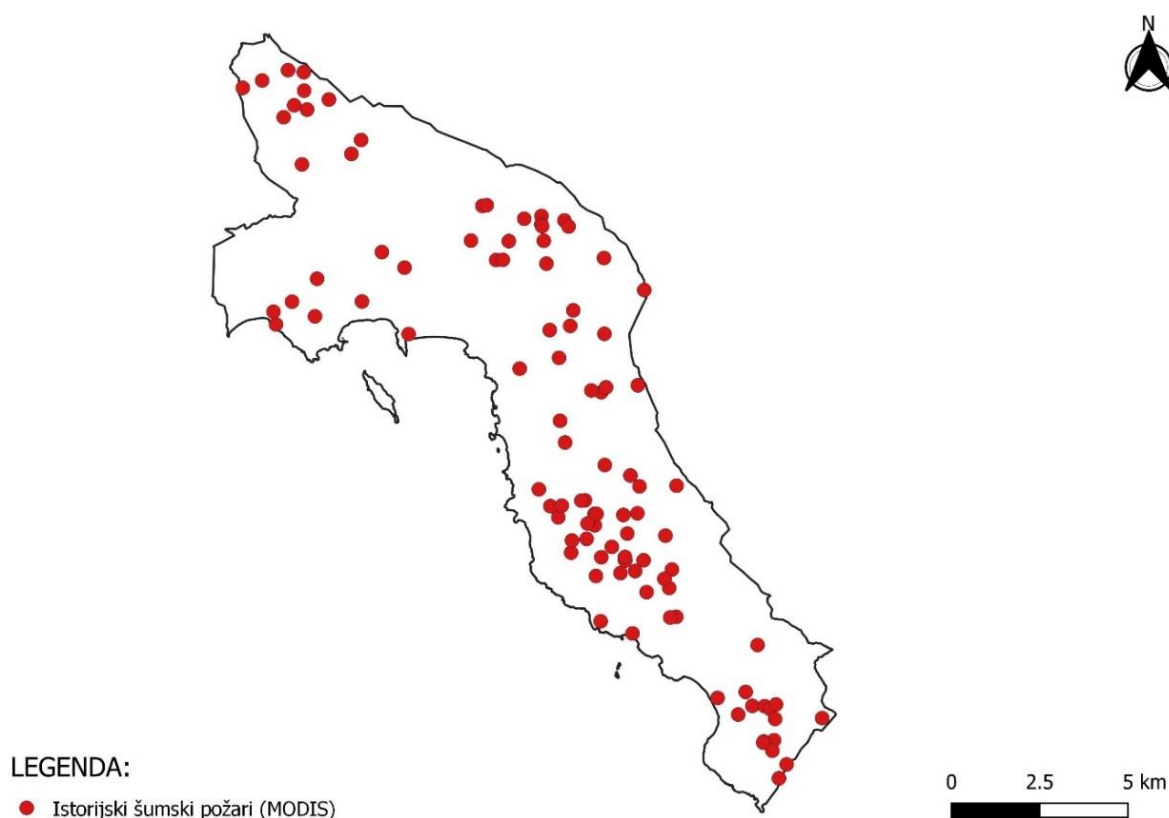
3.3.1.6. Validacija rezultata

Validacija dobijenih rezultata predstavlja ključni korak u procesu modelovanja bez kojeg nije moguće utvrditi relevantnost i naučnu utemeljenost izrađenog modela (Feizizadeh et al., 2014). U toku procesa GIS višekriterijumske analize, analiza osjetljivosti se preporučuje kao alat za provjeru stabilnosti rezultata kako bi se utvrdila subjektivnost (Gigović et al., 2016). U analizi osjetljivosti uobičajeni pristup jeste promjena težinskih koeficijenata za kriterijume, kako bi se mogle uočiti promjene na izlaznom modelu (Çetinkaya et al., 2018).

Kako bi se provjerila osjetljivost, izrađen je drugi model sa istim kriterijumima i standardizovanim vrijednostima, ali sa jednakim težinskim koeficijentima za sve kriterijume.

U svrhu validacije tačnosti rezultata korišćeni su podaci o istorijskim šumskim požarima u periodu 2001-2021. sa satelita MODIS (Slika 11), preuzeti na zahtjev u vektorskom tačkastom ESRI Shapefile formatu iz arhive geoportala FIRMS (URL 12).

Kao metod za analizu tačnosti u LibreOffice Calc izabran je ROC (engl. receiver operating characteristics curve - ROC) metod. ROC kriva predstavlja dijagram kod kojeg su vrijednosti stvarnog pozitivnog procenta (engl. true positive rate - TPR) prikazane na Y osi stavljene u odnos sa vrijednostima lažnog pozitivnog procenta (engl. false positive rate - FPR) prikazanog na osi X dijagrama. Takođe za potrebe validacije, izrađena je automatski izračunata površina ispod ROC krivulje (engl. area under curvature - AUC). Vrijednosti AUC prikazuju uspješnost i tačnost određenog modela u odnosu na referentne podatke (URL 13, Domazetović, 2018), pri čemu se razlikuju odlični (AUC = 0,9 - 1), vrlo dobri (AUC = 0,8 - 0,9), dobri (AUC = 0,7 - 0,8), loši (AUC = 0,6 - 0,7), i neuspješni modeli (AUC = 0,5 - 0,6).



Slika 11. Karta istorijskih šumskih požara

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Cilj GIS višekriterijumske analize/definisanje problema

Raste broj šumskih požara i izgorjelih površina (Turco et al., 2014). Zbog toga je važno razvijati optimalnu metodologiju i modele koji će pomoći u boljem planiranju i organizaciji zaštite šuma.

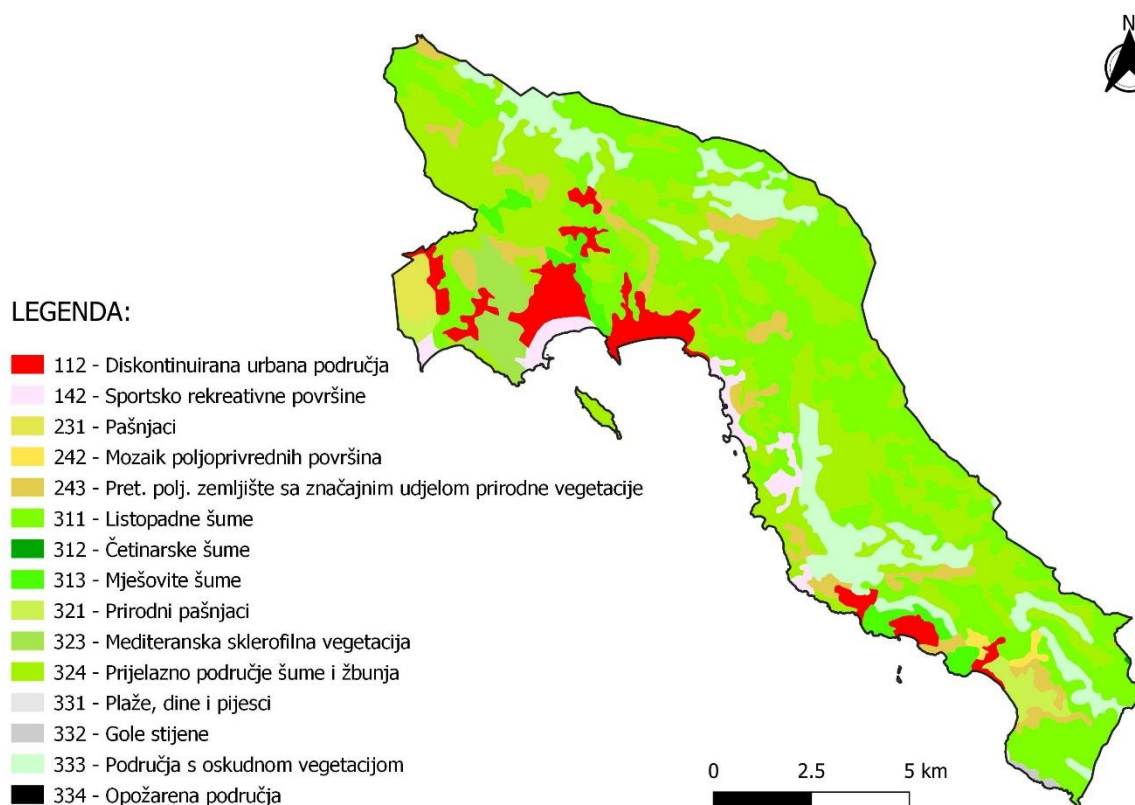
4.2. Određivanje kriterijuma za kartiranje hazarda od šumskog požara

Za potrebe modela korišćeno je devet prirodnih i antropogenih kriterijuma: zemljišni pokrivač, ekspozicija, nagib, nadmorska visina, temperatura, padavine, udaljenost od puta, udaljenost od naselja i isključujući kriterijum. Korišćeni su otvoreni geoprostorni podaci koji su konvertovani u rastersku 25 m rezoluciju, i preprojetkovani u koordinatni sistem Univerzalne poprečne projekcije Merkatora (UTM 34N) na rotirajućem elipsoidu WGS 84 (EPSG: 32634). Lista kriterijuma koji su korišćeni sa izvorima i rezolucijom kao i njihov format (prije analize i konvertovanja u raster) dati su u Tabeli 7.

Tabela 7. Kriterijumi sa formatom i izvorom otvorenih geoprostornih podataka

Kriterijum	Format podataka	Izvor
Zemljišni pokrivač (C1)	ESRI Shapefile	(URL 14)
Ekspozicija (C2)	GeoTIFF (25 m)	(URL5)
Nagib (C3)	GeoTIFF (25 m)	(URL5)
Nadmorska visina (C4)	GeoTIFF (25 m)	(URL5)
Temperatura (C5)	GeoTIFF (25 m)	(URL15)
Padavine (C6)	GeoTIFF (25 m)	(URL15)
Udaljenost od puta (C7)	ESRI Shapefile	(URL7)
Udaljenost od naselja (C8)	ESRI Shapefile	(URL7)
Isključujući kriterijum (C9)	ESRI Shapefile	(URL14)

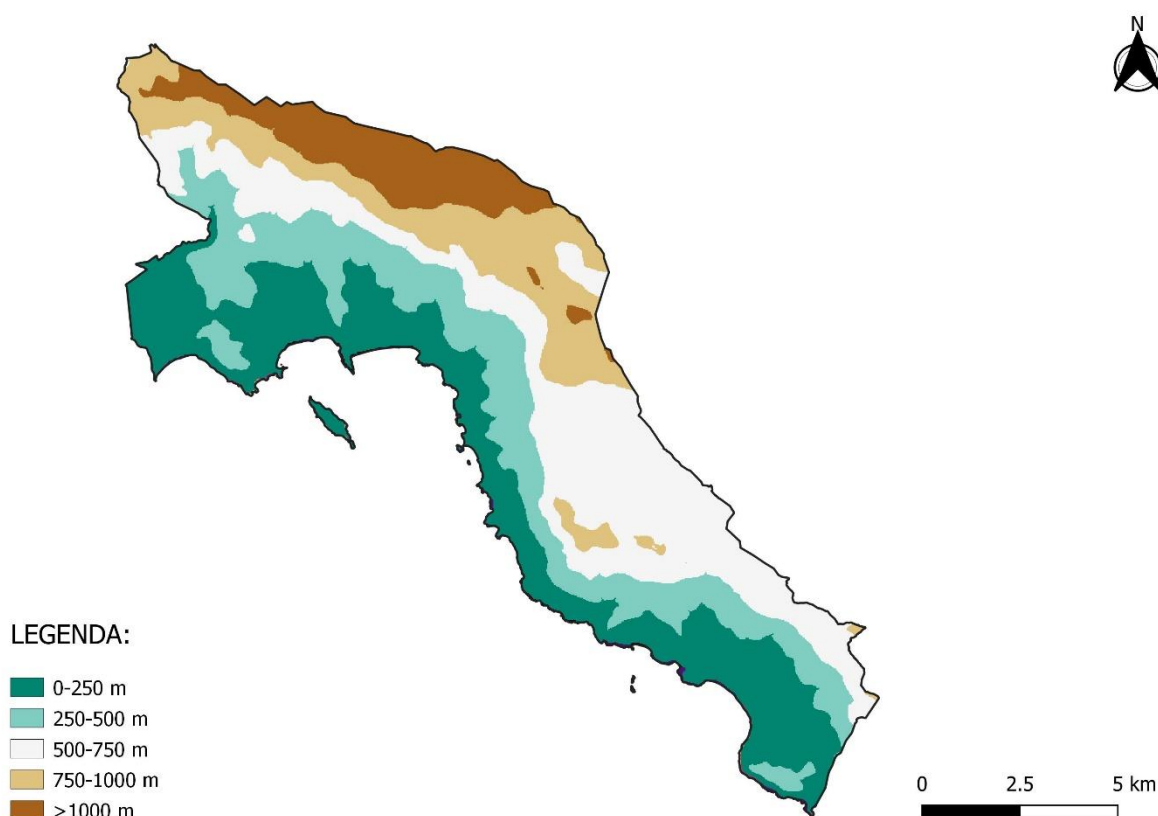
Vrste vegetacije i njihove karakteristike date su na osnovu zemljišnog pokrivača Corine Land Cover 2018 (Slika 12). Glavni kriterijumi koji utiču na širenje šumskog požara su vrsta i karakteristike vegetacije. Uopšteno posmatrano, četinarske vrste su zapaljivije od listopadnih vrsta zbog guma i smola u kambijumu i lišću. Između ove dvije grupe postoji velika razlika u pogledu osjetljivosti na paljenje i gorenje, ali razlika postoji i među različitim vrstama u istoj grupi drveća. Takođe, bitan faktor koji povećava osjetljivost na šumske požare jeste starost šumskog drveća. Osjetljivost je znatno veća kod mladih stabala u mladim kulturama i sastojinama gdje se krošnje još nisu sklopile, pa je zemljište duže izloženo sunčevoj svjetlosti i toploti. Ovo omogućava razvoj travnate i žbunaste vegetacije, koja osušena predstavlja odličan gorivni materijal (Chuvieco & Congalton, 1989; Dragičević & Filipović, 2016).



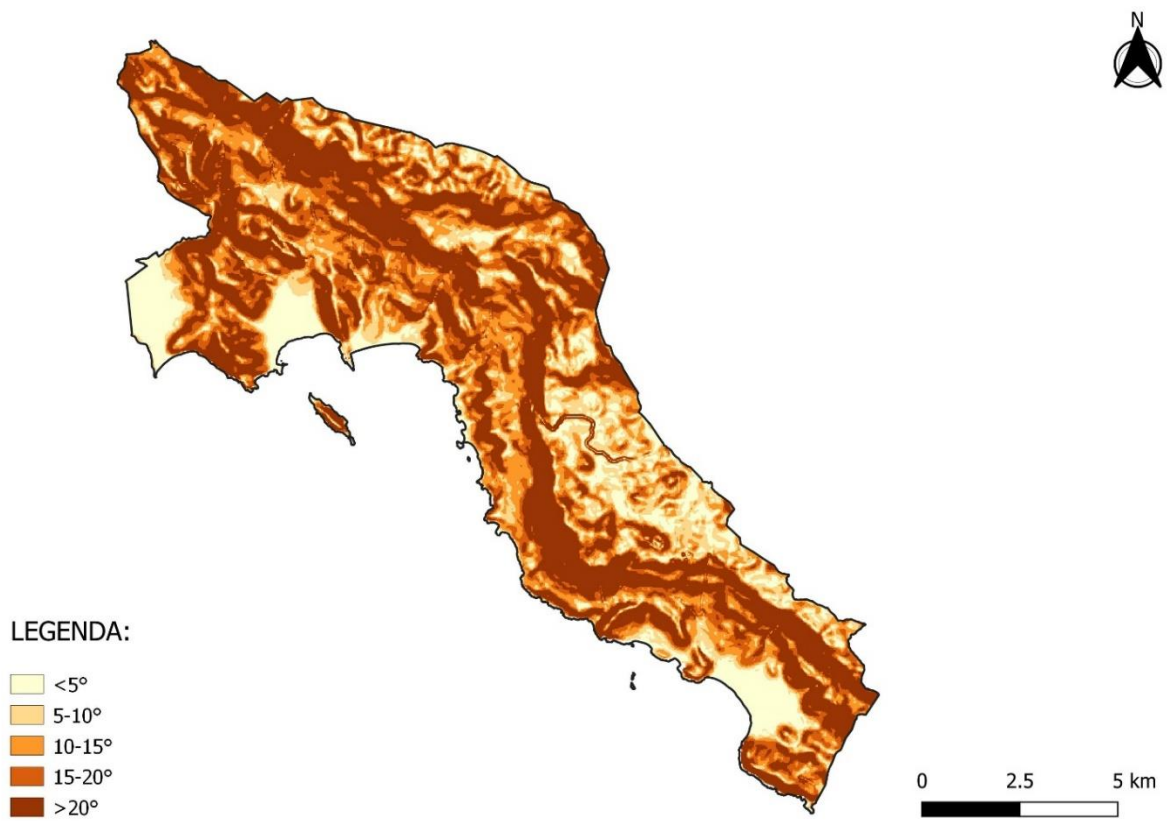
Slika 12. Karta zemljišnog pokrivača

Pojava požara zavisi od topografske grupe kriterijuma. Topografsku grupu kriterijuma čine nadmorska visina (Slika 13), nagib (Slika 14) i ekspozicija (Slika 15). Sa povećanjem nadmorske visine, sastav supstrata se mijenja i prosječna temperatura

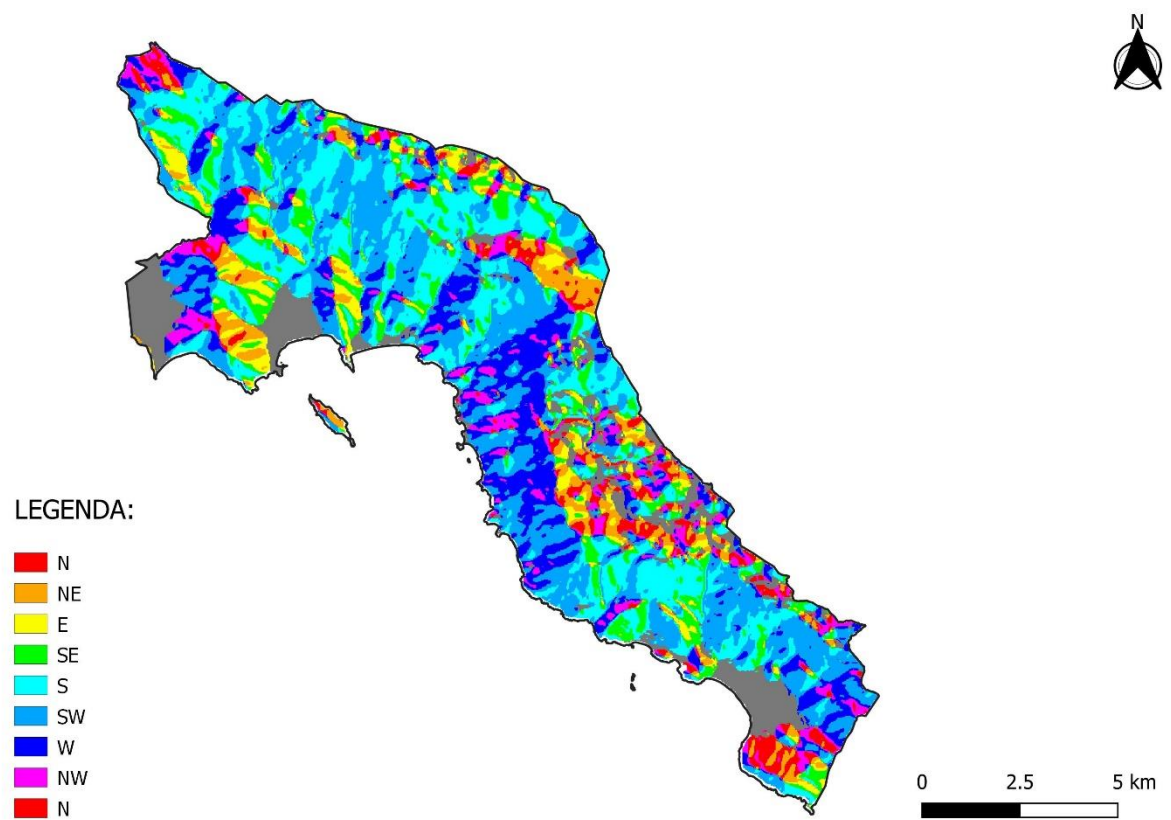
vazduha se smanjuje. Nagib takođe utiče na širenje vatre. Na strmim padinama vatra se širi brže i do četiri puta u odnosu na ravnicu. Ekspozicija utiče na formiranje šumskih sastojina. Veći je hazard od požara na zemljištu koje se nalazi na južnim i jugozapadnim ekspozicijama, gdje sunčevo zračenje traje duže. Sjeverne i sjeveroistočne ekspozicije spadaju u kategorije najmanjeg hazarda od izbijanja šumskih požara (Netolicki i sar., 2012; Dragičević & Filipović, 2016; Šiljeg i sar., 2021). Analize za topografske kriterijume izvedene su korišćenjem alata za nagib i ekspoziciju u QGIS-u.



Slika 13. Karta nadmorskih visina

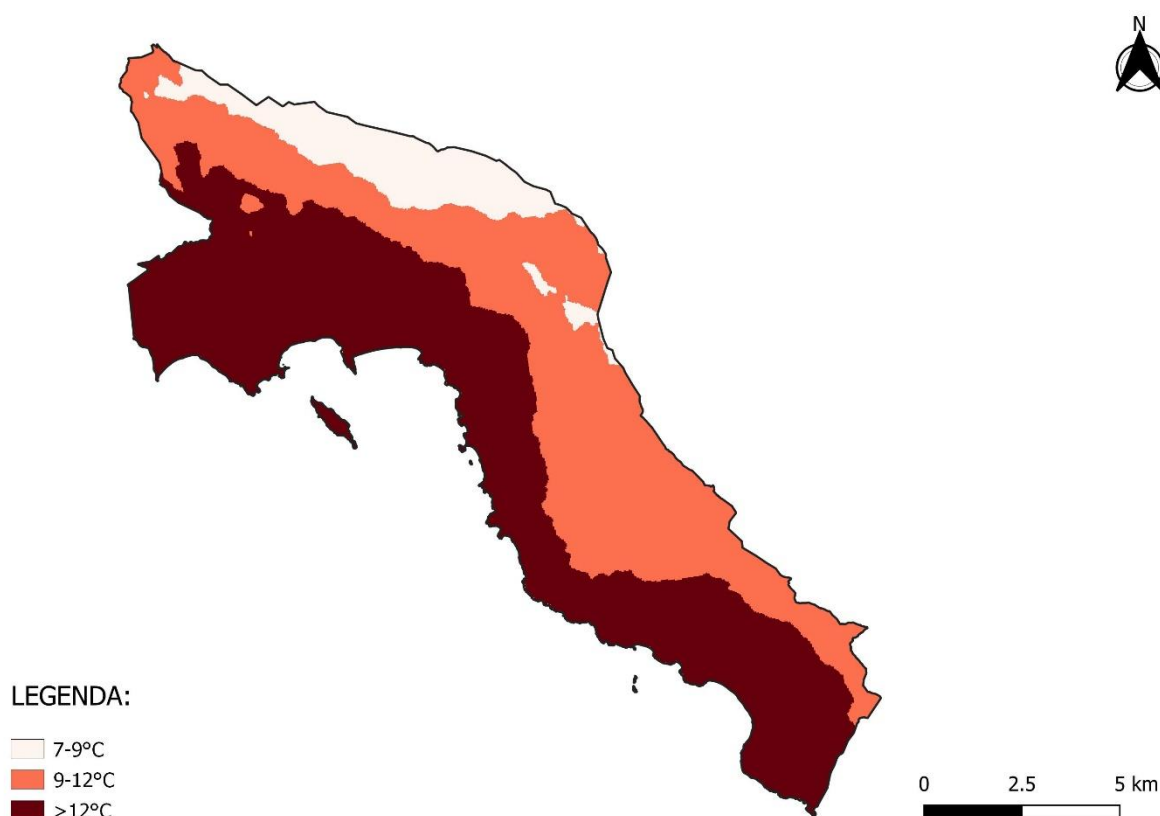


Slika 14. Karta nagiba



Slika 15. Karta ekspozicije

Klimatska grupa kriterijuma uključuje temperaturu vazduha (Slika 16) i padavine (Slika 17). Izbijanje, intenzitet i širenje šumskog požara uzrokovani su klimatskim prilikama nekog područja. Povišena temperatura vazduha i njena trajnost uzrokuju isušivanje vegetacije, koja time postaje osjetljiva na požare. Padavine oštećuju gorivni materijal i povećavaju procenat vlage u njemu, a ako su padavine ravnomjerno raspoređene tokom cijele godine, smanjuje se hazard od požara (Netolicki i sar., 2012; Dragičević & Filipović, 2016).

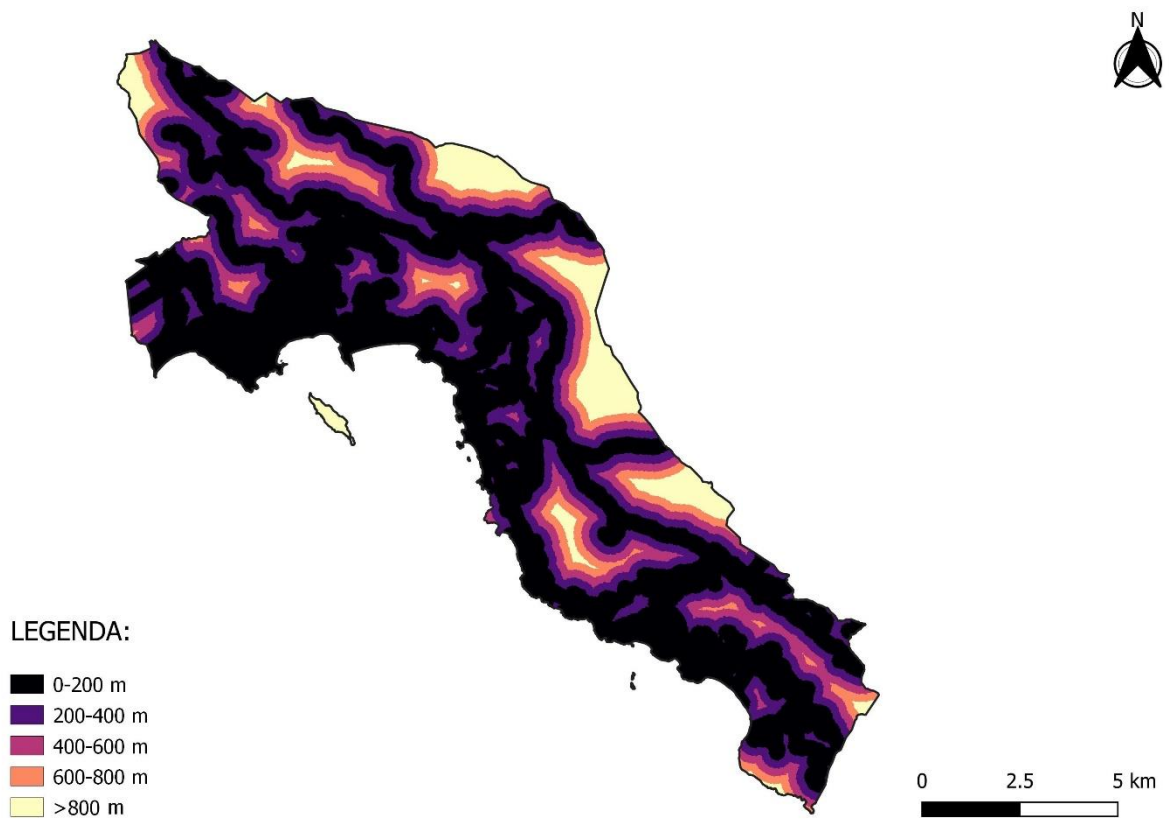


Slika 16. Karta temperature

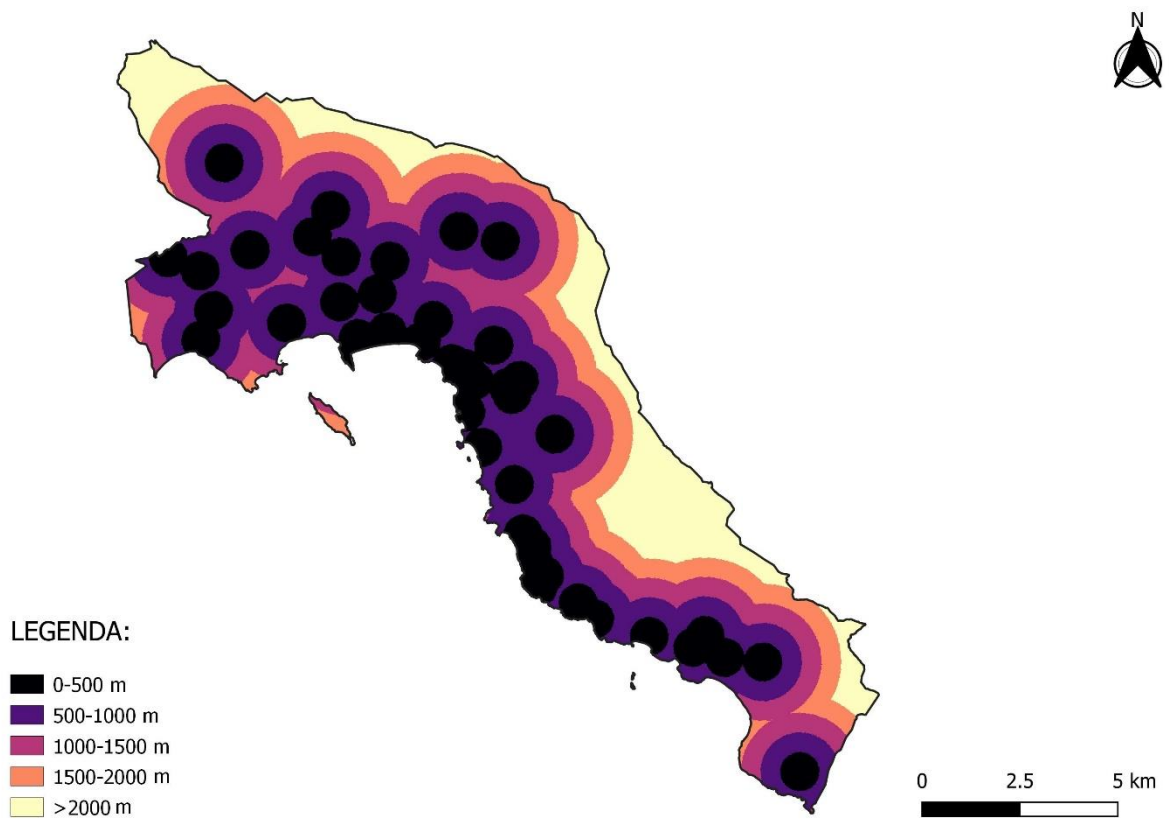


Slika 17. Karta padavina

Antropogena grupa kriterijuma uključuje udaljenost od puteva (Slika 18) i udaljenost od naselja (Slika 19). Moraju se uzeti u obzir dva glavna efekta zbog kojih su značajna ova dva kriterijuma. Prvo, mogu poslužiti kao protivpožarni prekidi ili putevi za gašenje požara. U tom smislu, oni su faktor smanjenja hazarda od požara. Drugo, oni su potencijalni uzroci svakodnevnih ljudskih aktivnosti, turizma i rekreacije. U tom kontekstu povećavaju hazard od šumskog požara zbog intenzivnije ljudske aktivnosti (Chuvieco & Congalton, 1989). Podaci za ove kriterijume preuzeti su iz OpenStreetMap baze. Udaljenost od puteva obrađena je euklidskom analizom, a udaljenost od naselja bafer analizom. Obje analize su izvršene u QGIS-u.

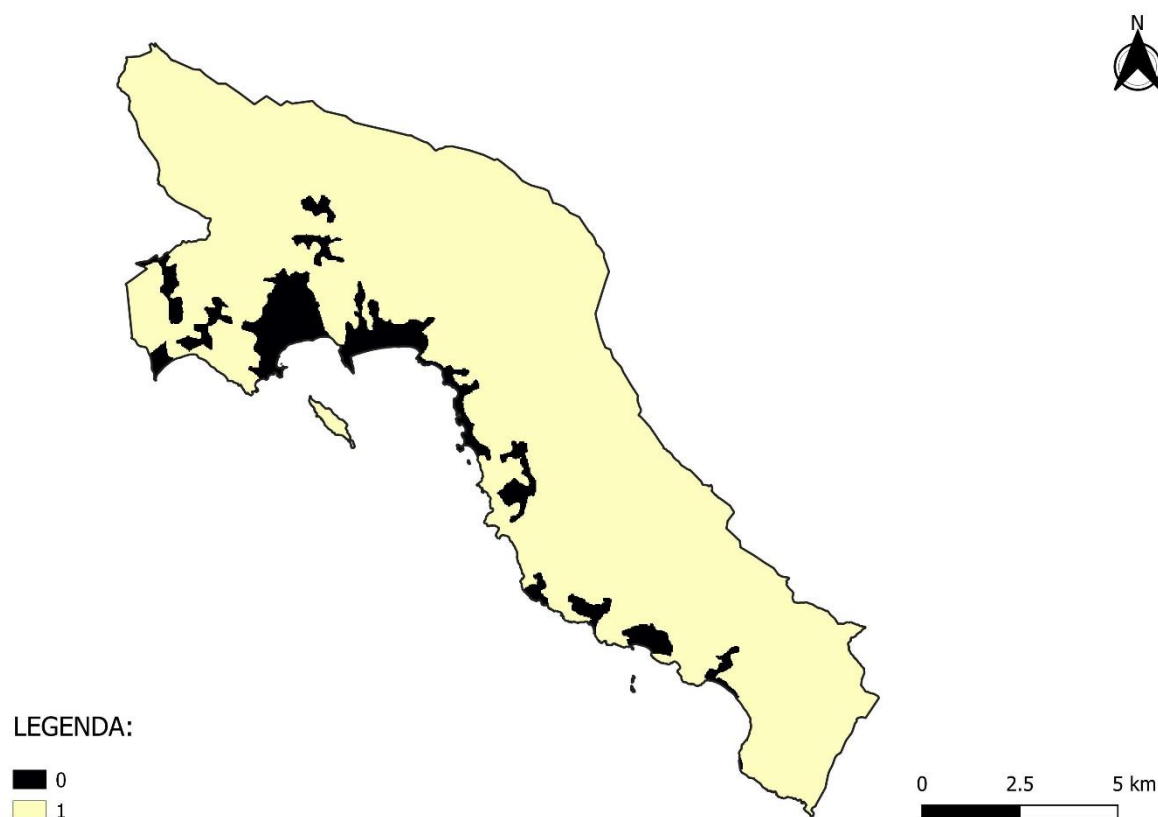


Slika 18. Karta udaljenosti od puteva



Slika 19. Karta udaljenosti od naselja

Na osnovu klasifikacije Corine Land Cover 2018, vještačke površine su isključene iz kartiranja hazarda od šumskih požara na Boleovoj osnovi logičkog principa (Slika 20) sa vrijednostima 0 (Eastman, 1999).



Slika 20. Karta isključenih područja

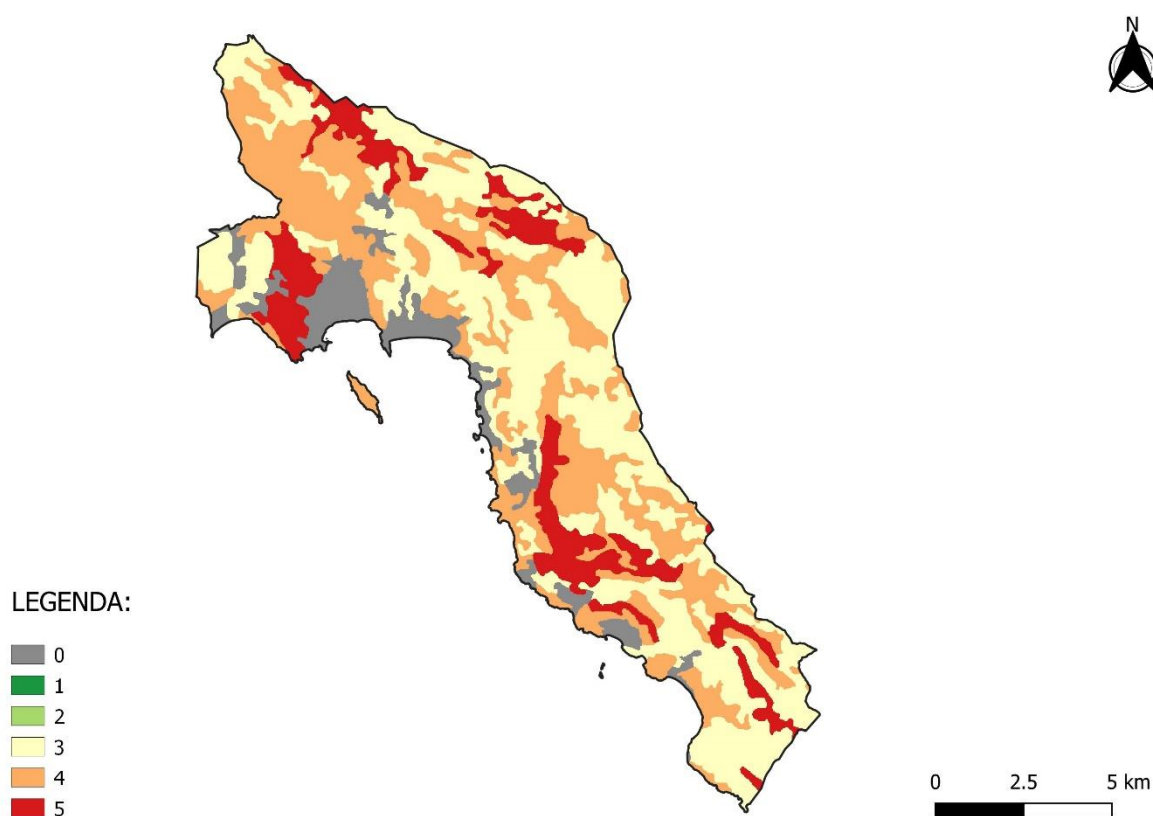
4.3. Standardizacija kriterijuma za kartiranje hazarda od šumskog požara

Standardizovane vrijednosti za sve kriterijume prikazane su u Tabeli 8.

Tabela 8. Standardizacija kriterijuma

INTEZITET VAŽNOSTI KRITERIJUMA NA HAZARD OD ŠUMSKOG POŽARA					
Kriterijum	Veoma nizak (1)	Nizak (2)	Umjeren (3)	Visok (4)	Veoma visok (5)
Zemljišni pokrivač (C1)*	-		242, 243, 311	231, 312, 313, 321, 324, 332	323, 333
Ekspozicija (C2)	N, ravno	NE, NW	E, W	SE	S, SW
Nagib (C3)	<5°	5-10°	10-15°	15-20°	>20°
Nadmorska visina (C4)	>1000	750-1000 m	500-750 m	200-500 m	<200 m
Temperatura (C5)	<4°C	4-7°C	7-9°C	9-12°C	>12°C
Padavine (C6)	>3000 mm	2500-3000 mm	2000-2500 mm	1700-2000 mm	<1700 mm
Udaljenost od puteva (C7)	>800 m	600-800 m	400-600 m	200-400 m	0-200 m
Udaljenost od naselja (C8)	>2000 m	1500-2000 m	1000-1500 m	500-1000 m	0-500 m

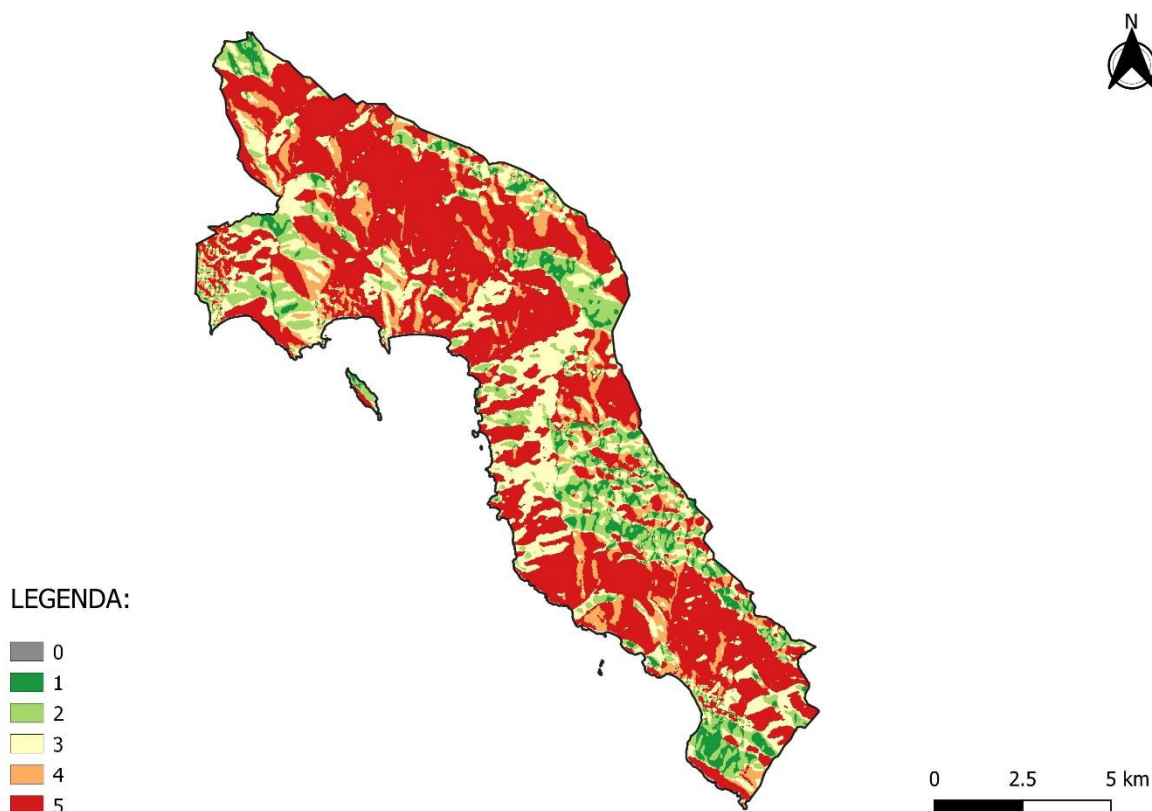
Prema zemljišnom pokrivaču Corine Land Cover 2018, na osnovu trećeg nivoa nomenklature (Slika 21), dobijene su vrste i karakteristike vegetacije. Najveće procentualno učešće od 35% ima klasa širokolisne šume (311). Ova šumska klasa svrstana je u kategoriju umjerenog hazarda od šumskog požara sa poljoprivrednim klasama. U ovoj kategoriji navedene klase zastupljene su na 44% površine. Klase kao što su pašnjaci, livade i drugi trajni travnjaci u poljoprivrednoj upotrebi (231), četinarska šuma (312), mješovita šuma (313), prirodni travnjaci (321), prelazna šuma/žbunje (324), gola stijena sa malo vegetacije (332) svrstane su u visoku kategoriju hazarda od šumskog požara, koja zauzima 33% površine. Sklerofilna vegetacija (323) i površine sa rijetkom vegetacijom (333) svrstane su u kategoriju veoma visokog hazarda, koja zauzima 14% površine.



Slika 21. Karta sa standardizovanim vrijednostima zemljišnog pokrivača

U kontekstu ekspozicije (Slika 22), najraširenija je klasa veoma visoke kategorije hazarda od šumskog požara, koja zauzima 51% površine. Dominantna izloženost padine je južna i jugozapadna, posebno izražena kod paralelnih ekspozicija u profilu

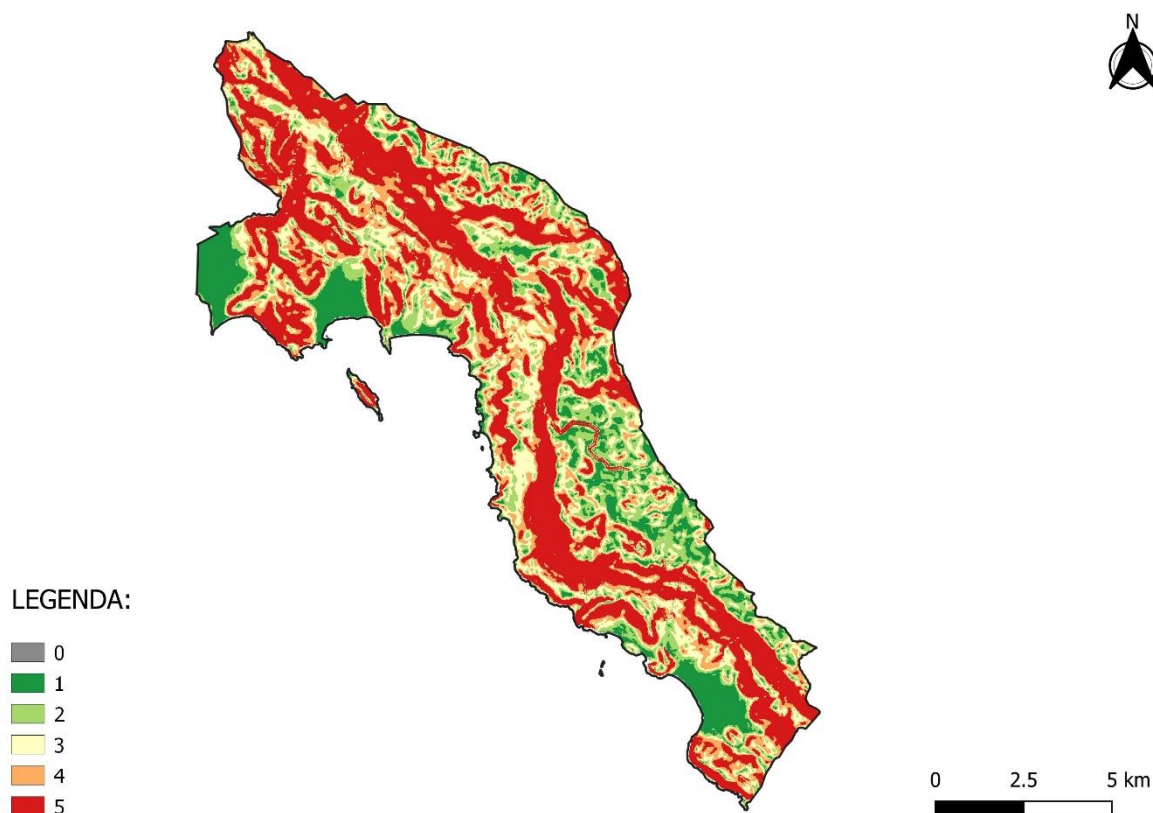
padine. Zbog toga intezitet sunčevog zračenja (npr. kod formiranja šumskih sastojina) kod ovih padina utiče na formiranje šumskih požara. Zatim slijedi umjerena kategorija hazarda, koja zauzima 21%, a odnosi se na istočne i zapadne padine. Sjeveroistočne i sjeverozapadne padine zauzimaju 13% površine i svrstane su u kategoriju niskog hazarda. Nakon toga, ravne i jugoistočne padine, sa 10% površine koju zauzimaju, svrstane su u kategoriju visokog hazarda. Na kraju, sjeverne padine, sa najmanjom površinom zastupljenosti od 5% svrstane su u kategoriju veoma niskog hazarda.



Slika 22. Karta sa standardizovanim vrijednostima ekspozicije

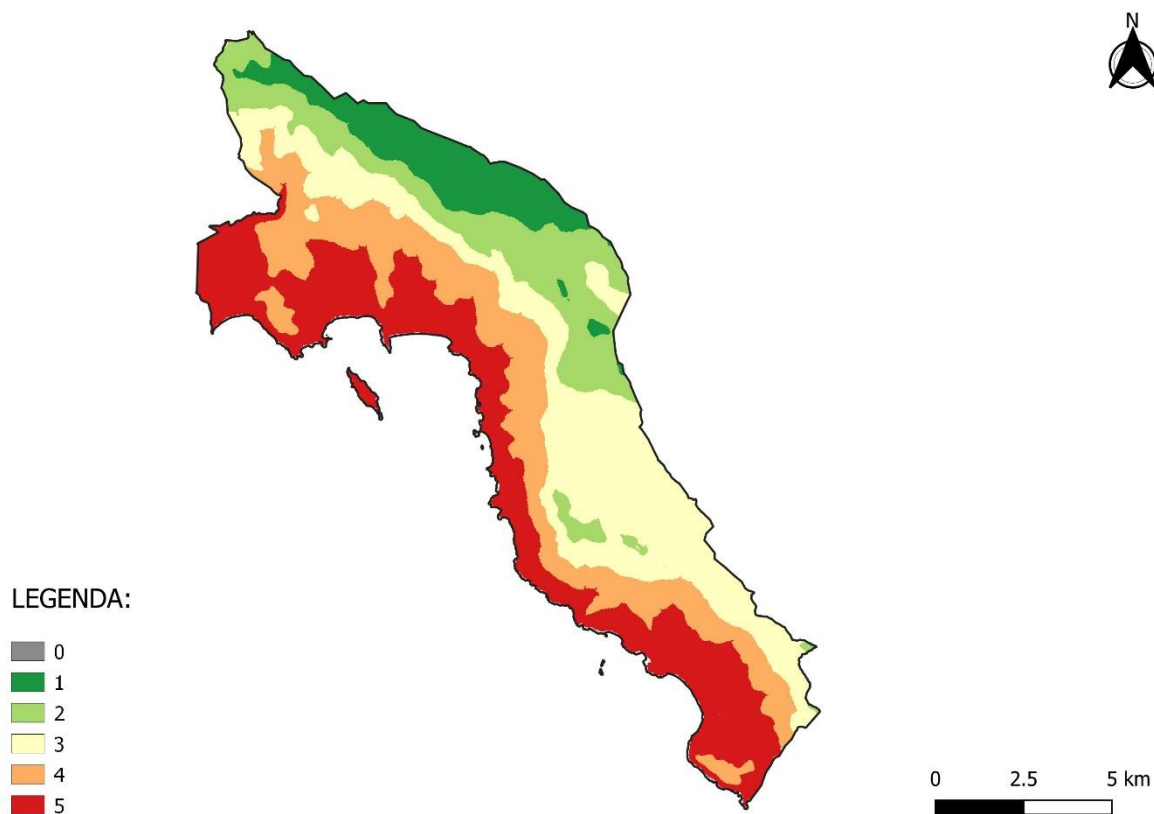
Na profilu primorske padine jasno se uočavaju karbonatna i flišna zona, gdje je izražen uticaj egzogenih procesa, posebno kod mirko i mezo formi reljefa, što zajedno utiče na formiranje i širenje šumskih požara (Slika 23). Najzastupljenija klasa nagiba padine je iznad 20° i zauzima 38% površine koja je svrstana u veoma visoku kategoriju hazarda od šumskog požara. Sljedeća klasa nagiba $15-20^\circ$ zauzima 17% površine i ona se nalazi u visokoj kategoriji hazarda. Klasa $10-15^\circ$ nagiba zauzima 18% površine i svrstana je u umjerenu kategoriju hazarda. Klasa nagiba $5-10^\circ$ zauzima 15% i svrstana je

u nisku kategoriju hazarda. Najmanje zastupljena je klasa nagiba ispod 5°, koja zauzima 12% površine i svrstana je u veoma nisku kategoriju hazarda.



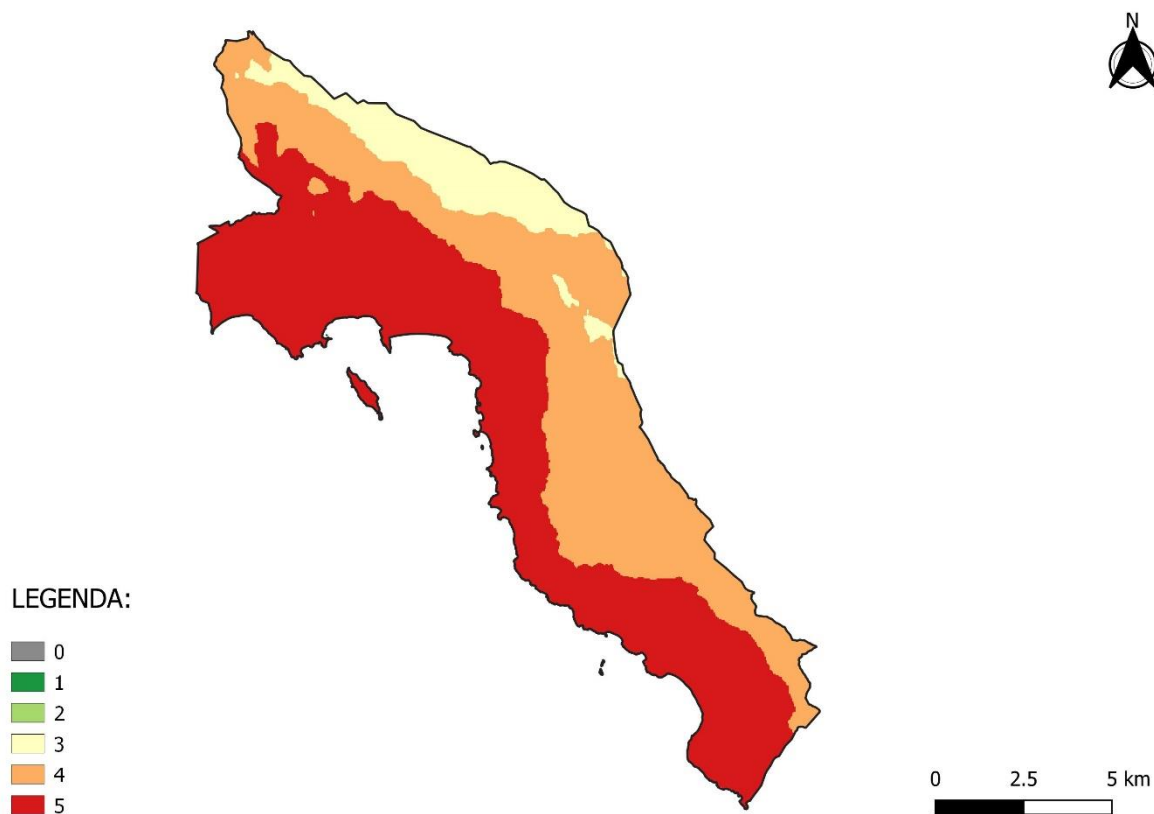
Slika 23. Karta sa standardizovanim vrijednostima nagiba

Eumediterranska zona ide dublje ka kopnu na većim nadmorskim visinama. Niži submediteranski vegetacijski pojas zalazi 3 do 4 km, duboko u kopno, i hipsometrijski se penje od 400 do 500m. Viši mediteranski vegetacijski pojas ide 5 do 6 km u kopno i penje se od 800 do 900m (AG Infoplan, 2007). Ova dva pojasa se morfometrijski jasno uočavaju, a njihova hipsometrija je primarno u vezi sa tektonskim i egzodinamičkim procesom (Slika 24). Najzastupljenija klasa nadmorske visine je 500-750m i zauzima 27% površine. Svrstana je u kategoriju umjerenog hazarda od šumskog požara. Sa 26 % površine slijedi klasa 0-200m, koja je svrstana u veoma visoku kategoriju. Klasa nadmorske visine 200-500m, koja je svrstana u visoku kategoriju hazarda, zauzima 22% površine. Klasa nadmorske visine 750-1000m zastupljena je na 15% površine, a svrstana je u nisku kategoriju hazarda. Najmanje zastupljena klasa je iznad 1000m, zauzima 10% površine i svrstana je u kategoriju veoma niskog hazarda od šumskog požara.



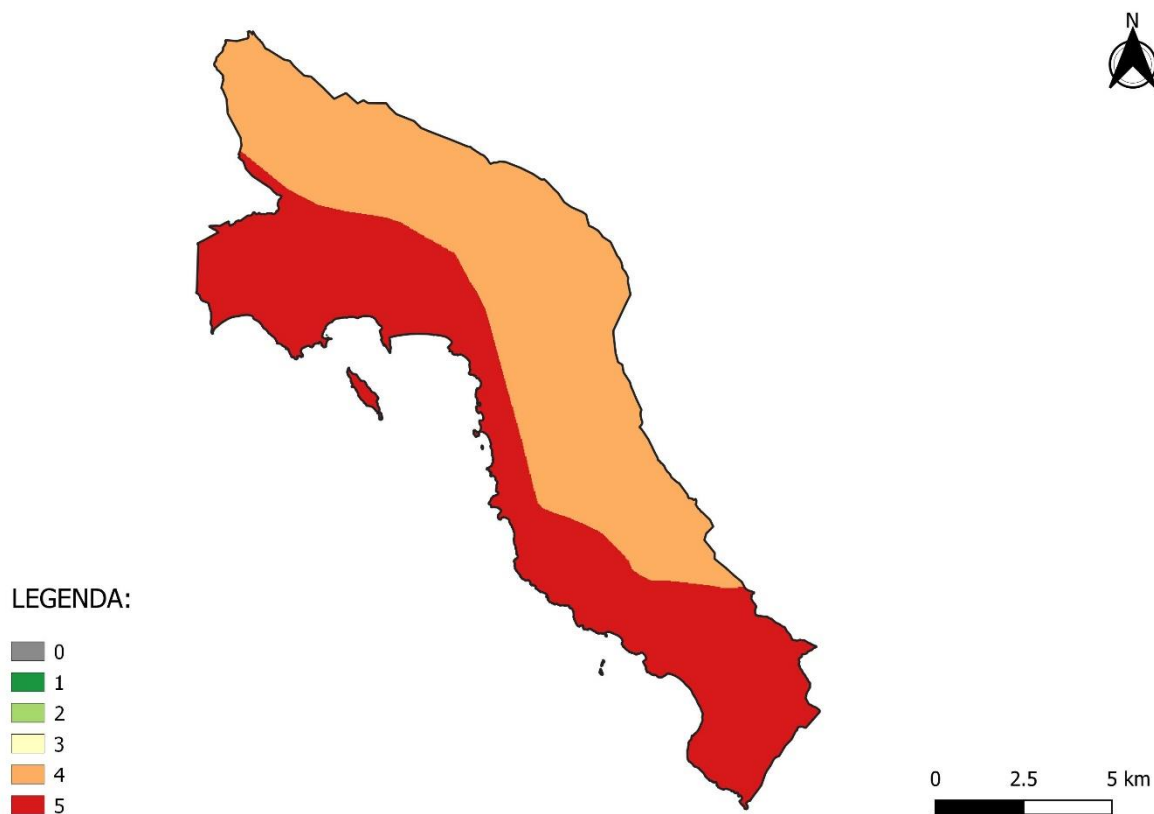
Slika 24. Karta sa standardizovanim vrijednostima nadmorske visine

Visoke ljetnje temperature preovlađuju na ovom području, i tokom tih najtoplijih mjeseci izbija najveći broj šumskih požara (MUP, 2021). Međutim, zbog dostupnosti podataka, kriterijum je standardizovan prema godišnjim vrijednostima temperature na osnovu modela (Slika 25). Najzastupljenija je temperaturna klasa $>12^{\circ}\text{C}$ koja zauzima 51% površine, a svrstana je u kategoriju veoma visokog hazarda od šumskog požara. Klasa $9-12^{\circ}\text{C}$ zauzima 40% površine, spadajući u kategoriju visokog hazarda od šumskog požara. Najmanje zastupljena klasa, temperature $7-9^{\circ}\text{C}$, zauzima 9% površine i svoje mjesto u kategoriji umjerenog hazarda od šumskog požara.



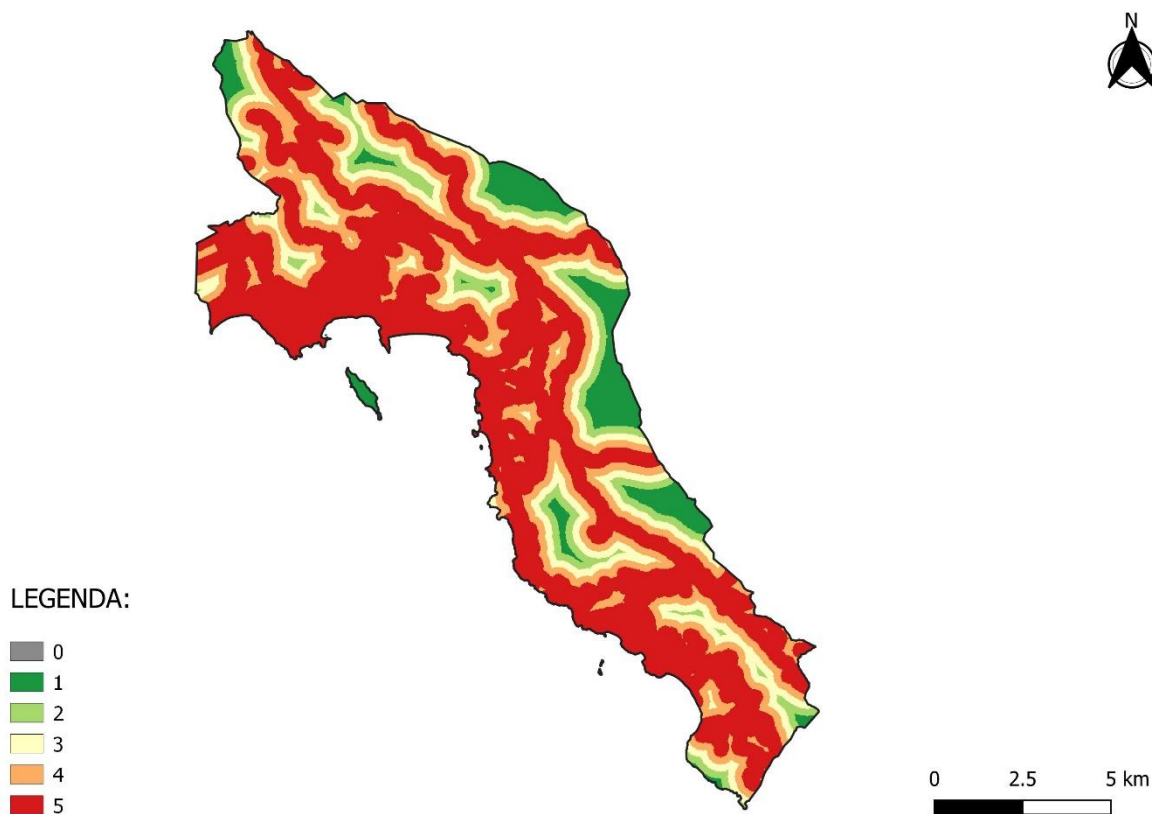
Slika 25. Karta sa standardizovanim vrijednostima temperature

Veća količina padavina utiče na vlažnost, što smanjuje hazard od šumskog požara. Na ovom prostoru količina padavina je dosta neravnomjerna i varira prema godišnjim dobima (Slika 26). Najviše padavina ima u jesen, upadljivo manje zimi, a ljeti kada se dešava najveći broj požara padavina uglavnom nema (MUP, 2021). Međutim, kao i kod temperature, zbog dostupnosti podataka, kriterijum je standardizovan prema godišnjim vrijednostima. U kontekstu padavina, visoka kategorija hazarda od šumskog požara, sa klasom padavina 1700-2000mm, zauzima 52% površine. Veoma visoka kategorija hazarda sa zastupljenom klasom padavina ispod 1700mm zauzima 48% površine.



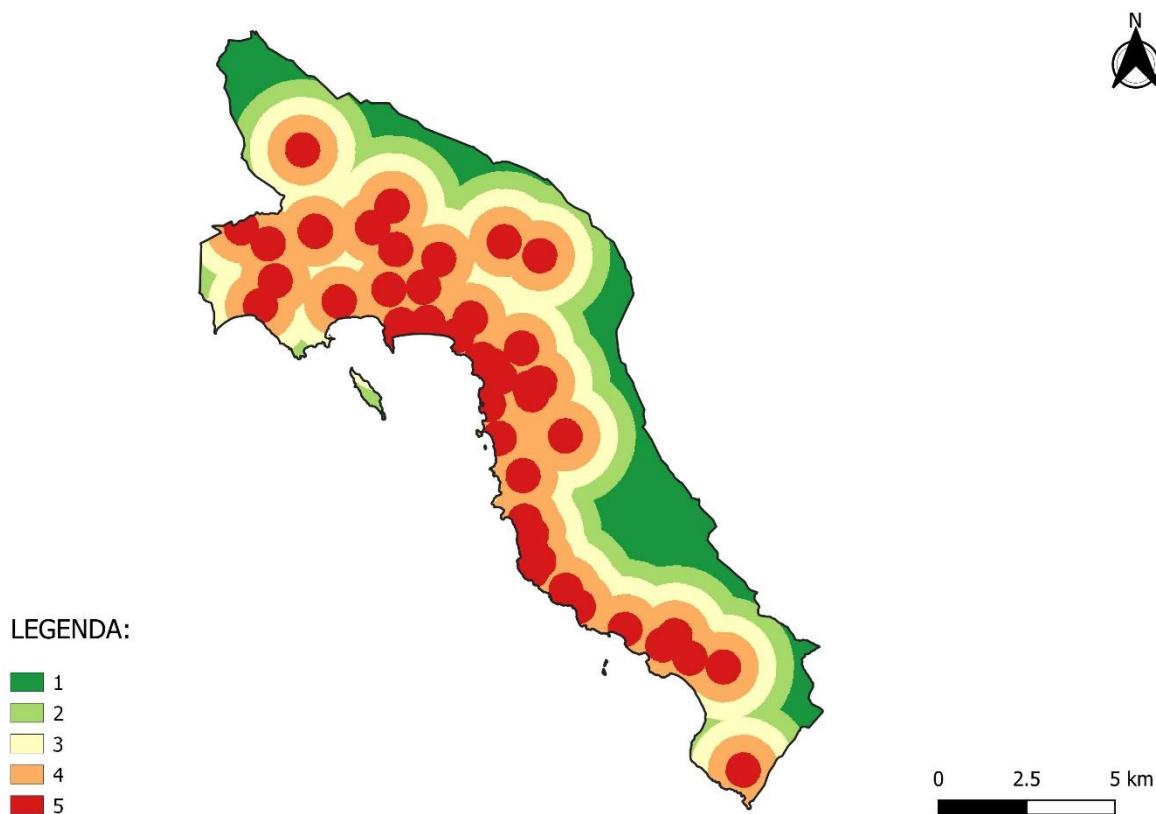
Slika 26. Karta sa standardizovanim vrijednostima padavina

Turistički značaj ovog prostora potvrđuje Milošević (2017), što dodatno povećava antropogeni uticaj na hazard od šumskog požara. Na ovom području dominiraju dva saobraćajno-komunikacijska pravca. Prvi je sjeverozapad-jugoistok, koji je uslovljen morfologijom terena, odnosno pravcem pružanja planinskog zaleđa i priobalnog pojasa. Glavna saobraćajnica na ovom pravcu je Jadranska magistrala, koja se pruža čitavom obalom. Drugi je pravac sjeveroistok-jugozapad, ka zaleđu u vidu saobraćajne veze sa glavnim gradom Podgoricom. Ovo područje je jedna od najznačajnijih turističkih destinacija na ovom dijelu Jadrana što dodatno utiče na aktivizaciju požara (AG Infoplan, 2007). Bitan kriterijum pri nastanku požara je udaljenost od puta (Slika 27), gdje najzastupljenija klasa, 0-200m, zauzimajući 52% površine, spada u veoma visoku kategoriju hazarda. Klasa 200-400m uzima 21% površine i svrstana je u visoku kategoriju hazarda. Klasa 400-600m zauzima 13% površine, a svrstana je u kategoriju umjerenog hazarda. Klasa 600-800m zauzima 7% površine, a svrstana je u nisku kategoriju hazarda. Klasa > 800m zauzima istu površinu od 7% kao i prethodna klasa, a svrstana je u veoma nisku kategoriju hazarda od šumskog požara.



Slika 27. Karta sa standardizovanim vrijednostima udaljenosti od puteva

Važna osobina prostornog rasporeda jeste ta što je većina naselja u zoni neposrednog kontakta sa magistralnim putnim pravcima. Naime, na odstojanju od 500m od magistralnog puta su 23 naselja, a svega 10 naselja je na većoj udaljenosti (AG Infoplan, 2007). Posljednji obrađeni kriterijum jeste udaljenost od naselja (Slika 28), gdje najzastupljenija klasa 500-1000m zauzima 35% površine i pripada visokoj kategoriji hazarda od šumskog požara. Klasa 1000-1500m zauzima 24%, a svrstana je u kategoriju umjerenog hazarda. Klasa 0-500m koja zauzima 19% površine svrstana je u veoma visoku kategoriju hazarda. Klasa 1500-2000m zauzima 13% površine i svrstana je u kategoriju niskog hazarda. Najmanje je zastupljena klasa > 2000m koja zauzima 9% površine i pripada kategoriji veoma niskog hazarda od šumskog požara.



Slika 28. Karta sa standardizovanim vrijednostima udaljenosti od naselja

4.4. Određivanje težina kriterijuma za kartiranje hazarda od šumskog požara

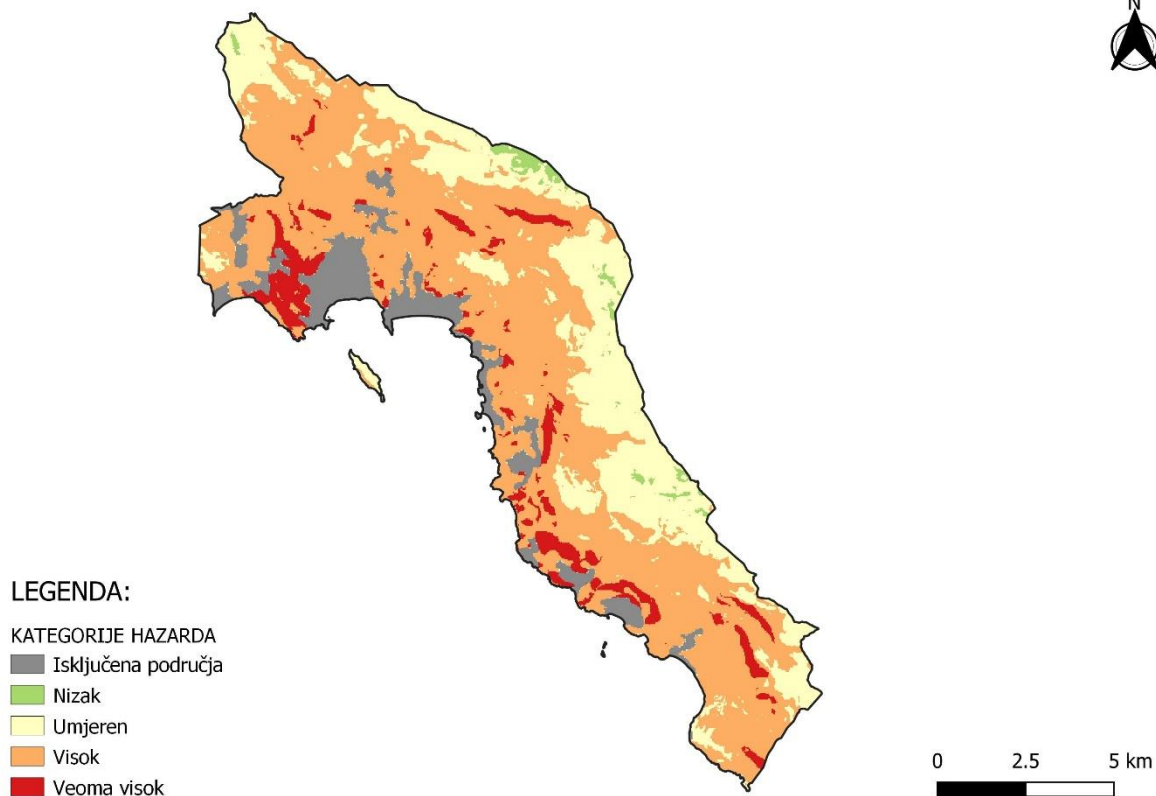
Nakon unosa vrijednosti sa Satijeve osnovne skale u uporednu matricu, izračunavaju se težine kriterijuma (w_i). Matrica poređenja prema kriterijumima prikazana je u Tabeli 9. Pregled literature pokazao je da najveći težinski koeficijent ima kriterijum zemljišnog pokrivača, zatim klimatska ili antropogena grupa, i na kraju dolazi topografska grupa sa najnižim težinskim koeficijentom (Setiawan et al., 2004; Vadrevu et al, 2009; Ariapour et al., 2014; Gigović i sar., 2018; Akay & Sahin, 2019; Zeleke, 2019; Novo et al., 2020; Adaktylou et al., 2020; Marić i dr., 2021; Šiljeg i sar., 2021). Studije potvrđuju sve jači antropogeni uticaj (Leone et al., 2009; Bakšić i sar., 2015, Turco, 2018). Zbog toga je na osnovu karakteristika istraživanog područja, ekspertskog znanja (Miladinović, 2022) i pregleda literature najveći težinski koeficijent dat kriterijumu zemljišnog pokrivača.

Tabela 9. AHP matrica

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Težina
C1	1.00	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	4.00	5.00	0.39
C2	0.14	1.00	3.00	3.00	0.33	0.33	0.20	0.20	0.06
C3	0.14	0.33	1.00	2.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.05
C4	0.14	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	0.25	0.25	0.03
C5	0.20	3.00	2.00	2.00	1.00	3.00	0.33	0.25	0.09
C6	0.20	3.03	2.00	2.00	0.33	1.00	0.33	0.33	0.07
C7	0.25	5.00	2.00	4.00	3.00	3.00	1.00	2.00	0.16
C8	0.20	5.00	2.00	4.00	4.00	3.00	0.50	1.00	0.15
count=8.00 lambda max=8.959 CI=0,137 CR=0,10 constant=1,41									

4.5. Rezultati analize za kartiranje hazarda od šumskog požara

Karta napravljena prema kategorijama hazarda od šumskog požara nalazi se na Slici 29. Rezultati karte prema površinskim i procentualnim vrijednostima u odnosu na kategorije hazarda od šumskog požara u Budvi prikazani su u Tabeli 10. Karta otkriva da klasa sa niskim hazardom zauzima 1.47 km² (1%), sa umjerenim hazardom 31.38 km² (26%), sa visokim hazardom 69.48 km² (57%) i sa veoma visokim hazardom 8.39 km² (7%). Područja isključena sa karte zauzimaju 10,46 km² (9%). Analizirajući rezultate sa ove karte, uočava se da visoka i veoma visoka kategorija hazarda prvenstveno nalaze mjesto u brdovitom, podgorinskom i planinskom zaleđu visoko urbanih turističkih cijelina (Budva, Petrovac, Bečići, Sveti Stefan, Reževići, Buljarica, Miločer, Pobori, Prijedor itd.) sa raznolikom vegetacijom. Planinsko područje na većim nadmorskim visinama, gdje je manji antropogeni i klimatski uticaj sa uglavnom listopadnom vegetacijom, pripada umjerenoj kategoriji. Niska kategorija hazarda zauzima više planinsko, uglavnom listopadno područje, gdje se, kao i kod umjerene kategorije, pokazuju manji antropogeni i klimatski uticaj.



Slika 29. Konačna karta hazarda od šumskog požara prema kategorijama hazarda

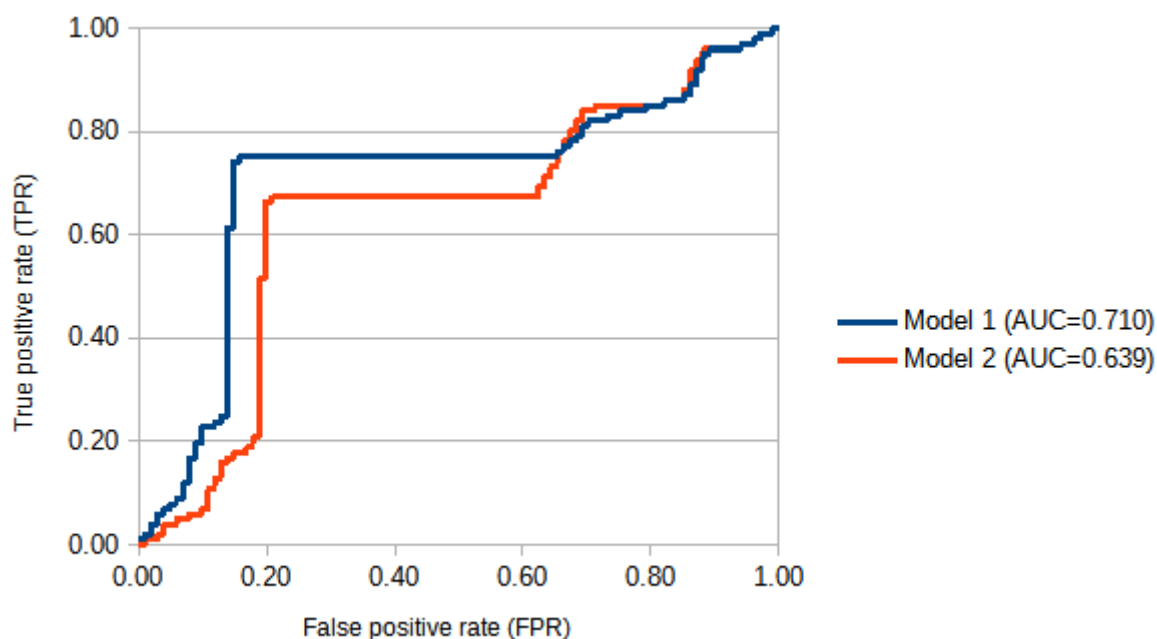
Tabela 10. Površine i procenti prema kategorijama hazarda od šumskog požara na osnovu izrađene karte

Kategorije hazarda	km ²	%
Isključena područja	10.46	9%
Nizak (2)	1.47	1%
Umjeren (3)	31.38	26%
Visok (4)	69.48	57%
Veoma visok (5)	8.39	7%
Ukupno	121.18	100

4.6. Validacija rezultata

Kod prvog izrađenog modela prikazanog u rezultatima analize težinski koeficijenti su dodijeljeni korišćenjem AHP-a. Kod drugog modela izrađenog za potrebe validacije svi kriterijumi imaju istu važnost, odnosno isti težinski koeficijent. Izrađene

ROC krive, zajedno s AUC vrijednostima (Slika 30), pokazuju da prvi model (AUC=0.710) ima dobru uspješnost i tačnost, što nije slučaj sa drugim modelom koji pokazuje lošu tačnost (AUC=0.639). Navedeni rezultati validacije potvrdili su sve postavljene hipoteze u istraživanju.



Slika 30. ROC kriva, zajedno s AUC vrijednostima

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad se fokusirao na kartiranje hazarda od šumskog požara. Izrađeni model bazira se na globalnim i evropskim otvorenim geoprostornim podacima. Najveći težinski koeficijent dodijeljen je kriterijumu zemljišnog pokrivača, zatim antropogenoj, pa klimatskoj, i na kraju – topografskoj grupi kriterijuma. Brojne su prednosti ovoga modela: mogućnost korišćenja u različitim geografskim uslovima (sa određenim izmjenama kod standardizacije kriterijuma), brza istraživačka sposobnost za veliko područje, dostupnost i mogućnost korišćenja otvorenih geoprostornih podataka, jednostavnost obrade podataka, lak proces validacije rezultata, analiza i prezentacija rezultata unutar GIS-a, itd. Međutim, bitno je reći da konačni rezultati imaju slabosti jer su otvoreni geoprostorni podaci korišćeni za izradu modela. Kada se koriste ovi podaci, rezolucija i kvalitet mogu biti upitni. Takođe, model ne uzima u obzir neke od bitnih vegetacijskih i klimatskih kriterijuma. Zbog toga bi u budućim istraživanjima bilo poželjno da se ovaj model obogati sa još kriterijuma i da se dopuni boljim ulaznim geoprostornim podacima kako bi se dobili relevantniji rezultati.

Prioritet donosilaca odluka, upravo zbog turističke prepoznatljivosti Budve, treba da bude zaštita od šumskih požara. Primjena ovog i sličnih modela u GIS okruženju može biti ključna u održivom i ekološkom upravljanju šumskim pokrivačem koji je u mediteranskom regionu pod stalnim hazardom od jakih požarnih sezona. Osim toga, predloženi model, naročito u slučaju oskudnih geoprostornih podataka (uz određene izmjene u različitim geografskim uslovima), može biti strateška i operativna prednost u razvoju planova i strategija zaštite od šumskih požara.

LITERATURA

1. Adaktylou, N., Stratoulis, D., & Landenberger, R. (2020). Wildfire risk assessment based on geospatial open data: Application on Chios, Greece. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 516. DOI: 10.3390/ijgi9090516
2. AG Infoplan. (2007). *Prostorni plan Opštine Budva*. Budva: AG Infoplan.
3. Akay, A. E., & Şahin, H. (2019). Forest fire risk mapping by using GIS techniques and AHP method: a case study in Bodrum (Turkey). *European Journal of Forest Engineering*, 5(1), 25-35. DOI: 10.33904/ejfe.579075
4. Akbulak, C., Tatlı, H., Aygün, G., & Sağlam, B. (2018). Forest fire risk analysis via integration of GIS, RS and AHP: The Case of Çanakkale, Turkey. *Journal of Human Sciences*, 15(4), 2127-2143. DOI: 10.14687/jhs.v15i4.5491
5. American Geological Institute. (1984). *Glossary of Geology*. Falls Church, Va.: American Geological Institute.
6. Ariapour, A., & Shariff, A. R. B. M. (2014). Rangeland fire risk zonation using remote sensing and geographical information system technologies in Boroujerd Rangelands, Lorestan Province, Iran. *Ecopersia*, 2(4), 805-818.
7. Bakšić, N., Vučetić, M., & Španjol, Ž. (2015). Potencijalna opasnost od požara otvorenog prostora u Republici Hrvatskoj. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 5(2), 30-40.
8. Barčić, D., Došlić, A., Rosavec, R., & Ančić, M. (2020). Klasifikacija i ponašanje šumskih požara u protupožarnoj zaštiti. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 10(1-2), 25-45.
9. Bashfield, A., & Keim, A. (2011). „Continent-wide DEM creation for the European Union.“ In: *34th International Symposium on Remote Sensing of Environment. The GEOSS Era: Towards Operational Environmental Monitoring*. Sydney, Australia, pp. 10-15.
10. Bennett, J. (2010). *OpenStreetMap*. Packt Publishing Ltd.
11. Bertović, S. (1987). *Osnove zaštite šuma od požara*. Zagreb: Centar za informacije i publicitet.

12. Burić, D., Ducić, V., & Mihajlović, J. (2014). The climate of Montenegro: Modifiers and types-part two. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 94(1), 73-90. DOI: 10.2298/GSGD1401073B
13. Çetinkaya, C., Kabak, M., Erbaş, M. and Özceylan, E. (2018), "Evaluation of ecotourism sites: a GIS-based multi-criteria decision analysis", *Kybernetes*, 47(8), 1664-1686. DOI: K-10-2017-0392
14. Coppock, J. T. & Rhind, D. W. (1991). The history of GIS. *Geographical information systems: Principles and applications*, 1(1), 21-43.
15. Cvetković, V. M., Gačić, J., & Jakovljević, V. (2016). Geospatial and temporal distribution of forest fires as natural disasters. *Vojno delo*, 68(2), 108-127.
16. Curović, M., Spalević, V., Stijović, A., Curović, Z., Busković, V. (2021). Forests of the Coast of Montenegro. In: Joksimović, D., Đurović, M., Zonn, I.S., Kostianoy, A.G., Semenov, A.V. (eds) *The Montenegrin Adriatic Coast. The Handbook of Environmental Chemistry*, 110. Springer, Cham. 51- 67.
17. Dimitrov, T. (1987). *Šumski požari i sistemi procjene opasnosti od požara. Osnove zaštite šuma od požara*, Zagreb: Centar za informacije i publicitet.
18. Domazetović, F. (2018). *Kvantitativna analiza jaruga na prostoru otoka Paga korištenjem modela visoke rezolucije (diplomski rad)*. Univerzitet u Zadru, Departman za Geografiju.
19. Domazetović, F. (2021). *Višerezolucijsko modeliranje erozije tla korištenjem geoprostornih tehnologija (doktorska disertacija)*. Univerzitet u Zadru, Departman za Geografiju.
20. Domazetović, F., Šiljeg, A., Lončar, N., & Marić, I. (2019). GIS automated multicriteria analysis (GAMA) method for susceptibility modelling. *MethodsX*, 6, 2553-2561. DOI: 10.1016/j.mex.2019.10.031
21. Dragičević, S. & Filipović, D. (2016). *Prirodni uslovi i nepogode u planiranju i zaštiti prostora – drugo dopunjeno izdanje*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet.
22. Eastman, J. R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. *Geographical information systems*, 1(1), 493-502.
23. ESRI. (2006). *GIS Technology and Applications for the Fire Service*. New York: ESRI.

24. FAO. (2005). *Global Forest Resources Assessment: Progress Towards Sustainable Forest Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
25. Feizizadeh, B., Roodposhti, M. S., Jankowski, P., & Blaschke, T. (2014). A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers & geosciences*, 73, 208-221.
26. Fischer, M. M., & Nijkamp, P. (1992). Geographic information systems and spatial analysis. *The Annals of Regional Science*, 26(1), 3-17.
27. Gai, C., Weng, W., & Yuan, H. (2011). „GIS-based forest fire risk assessment and mapping.“ In: *2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization* (pp. 1240-1244,). IEEE, 1240-1244.
28. Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., & Goodess, C. M. (2009). Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 C global warming. *Global and Planetary Change*, 68(3), 209-224.
29. Gigović, L., Jakovljević, G., Sekulović, D., & Regodić, M. (2018). GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnički vjesnik*, 25(3), 891-897. DOI: 10.17559/TV-20151230211722
30. Gigović, L., Pamučar, D., Lukić, D., & Marković, S. (2016). GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model for the evaluation of the sites for ecotourism development: A case study of „“Dunavski ključ““ region, Serbia. *Land use policy*, 58, 348-365.
31. Greene, R., Devillers, R., Luther, J. E., & Eddy, B. G. (2011). GIS-based multiple-criteria decision analysis. *Geography compass*, 5(6), 412-432.
32. Hengl, T., & Reuter, H. I. (2008). *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Newnes.
33. Herold, M., Scepan, J., & Clarke, K. C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and planning*, 34(8), 1443-1458. DOI: 10.1068/a3496
34. Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the total environment*, 409(19), 3578-3594.

35. Hysa, A., & Spalevic, V. (2020). Testing NDVI, tree cover density and land cover type as fuel indicators in the wildfire spread capacity index (WSCl): case of Montenegro. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 2368-2384. DOI: 10.15835/nbha48411993.
36. Hysa, A., Spalevic, V., Dudic, B., Roşca, S., Kuriqi, A., Bilaşco, Ş., & Sestras, P. (2021). Utilizing the available open-source remotely sensed data in assessing the wildfire ignition and spread capacities of vegetated surfaces in Romania. *Remote Sensing*, 13(14), 2737. DOI: 10.3390/rs13142737
37. Ichoku, C., Giglio, L., Wooster, M. J., & Remer, L. A. (2008). Global characterization of biomass-burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. *Remote sensing of Environment*, 112(6), 2950-2962. DOI: 10.1016/j.rse.2008.02.009
38. IES. (2012). *Climate, Security Envoys- New Developments in Climate Change and Security*. Global Military Advisory Council on Climate Change, Altiero Spinelli Bldg., European Parliament.
39. IPCC. (2007). *Climate Change: Mitigation. Contribution of Working Group 3 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
40. IPCC. (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors.
41. Jakovljević, V., Cvetković, V., & i Gačić, J. (2015). *Prirodne katastrofe i obrazovanje (Natural disaster and education)*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Fakultet bezbednosti.
42. Jovanović, V., Đurđev, B., Srđić, Z., & i Stankov, U. (2012). *Geografski informacioni sistemi*. Beograd: Univerzitet Singidunum.
43. Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific data*, 4(1), 1-20.
44. Kilibarda, M., & i Protić, D. (2018). *Geovizualizacija i Web kartografija*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.

45. Konecny, G. (2003). *Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information systems*. London: Talyor & Francis.
46. Laurent, A. M. S. (2004). *Understanding open source and free software licensing: guide to navigating licensing issues in existing & new software*. O'Reilly Media, Inc.
47. Leone, V., Lovreglio, R., Martín, M. P., Martínez, J., & Vilar, L. (2009). „Human factors of fire occurrence in the Mediterranean.“ In: *Earth observation of wildland fires in Mediterranean ecosystems*, (pp. 149-170). Berlin: Springer, 149-170..
48. Lim, N.J. (2018). *Modelling, mapping and visualization of flood inundation uncertainties (PhD thesis)*. University of Gävle.
49. Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science*, 20(7), 703-726. DOI: 10.1080/13658810600661508.
50. Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science (Vol. 1), pp. 55-77). New York: Springerr, 55-77.
51. Maric, I., Siljeg, A., & Domazetovic, F. (2021). „Derivation of Wildfire Ignition Index using GIS-MCDA from High-Resolution UAV Imagery Data and Perception Analysis in Settlement Sali, Dugi Otok Island (Croatia).“ In: *GISTAM*, 90-97. DOI: 10.5220/00104650009000097
52. Marić, I. (2020). *Razvoj višekriterijskog modela održivog upravljanja na području sedrotvornih vodotokova – primjer Skradinskog buka (doktorska disertacija)*. Univerzitet u Zadru, Departman za Geografiju.
53. Miladinović, A. (2022). *Usmeno ekspertske saopštenje*. Služba zaštite i spašavanja opština Budva, Sektor za planiranje i logistiku.
54. Milanović, M., Valjarević, A., i& Lukić T. (2020). *Daljinska detekcija u životnoj sredini*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet.
55. Miller, C. L., & Laflamme, R. A. (1958). *The Digital Terrain Model: Theory & Application*. MIT Photogrammetry Laboratory.
56. Miloslavić, M. (2004). *Požari raslinja na priobalju*. Zagreb: Florian.
57. Milošević, S. M. (2017). Analiza objektivnih pokazatelja razvijenosti turizma u Crnoj Gori. *Tims. Acta: naučni časopis za sport, turizam i velnes*, 11(1), 31-43.
58. MUP. (2019). *Nacionalni plan zaštite i spašavanja od požara*. Podgorica: MUP.

59. MUP. (2021). *Procjena rizika od katastrofa u Crnoj Gori*. Podgorica: Grafo Group D.O.O.
60. Mouratidis, A., & Ampatzidis, D. (2019). European digital elevation model validation against extensive global navigation satellite systems data and comparison with SRTM DEM and ASTER GDEM in Central Macedonia (Greece). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 108. DOI: 10.3390/ijgi8030108
61. Nestorov, I., & Protić, D. (2006). Implementation of the CORINE Land Cover project in Serbia and Montenegro. *Geodetska služba*, 35(105), 25-29.
62. Netolicki, A., Blažević, T., & Antolović, A. (2012). Višekriterijska analiza rizika od požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji. *Kartografija i geoinformacije*, 11(17), 4-24.
63. Novo, A., Fariñas-Álvarez, N., Martínez-Sánchez, J., González-Jorge, H., Fernández-Alonso, J. M., & Lorenzo, H. (2020). Mapping forest fire risk – a case study in Galicia (Spain). *Remote Sensing*, 12(22), 3705. DOI: 10.3390/rs12223705
64. Open Definition (2014). *Guide to Open Data Licensing*.
65. Popović, M. (2017). *Vatrogasna interoencija pri gašenju šumskih požara (završnim rad)*. Veleučilište u Karlovcu, Odjel Sigurnosti i zaštite.
66. Radusinović, S., Protić, D., Dević, N., Jovanović, B. (2011). Corine Land Cover projekat u Crnoj Gori – Primjena na slivu Skadarskog jezera, *Skadarsko jezero: stanje i perspektive*, (1), 63-72.
67. Ratknić, T. (2018). *Integralni model zaštite i upravljanje rizicima od šumskih požara u Republici Srbiji (doktorska disertacija)*. Univerzitet Singidunum, Beograd.
68. Roland, V., Marić, I., & Milošević, R. (2015). Primjena GIS tehnologije u vatrogastvu. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 5(1), 57-71.
69. Rosavec, R. (2010). *Odnos čimbenika klime i zapaljivosti nekih mediteranskih vrsta kod šumskih požara (doktorska disertacija)*. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
70. Rosavec, R., Španjol, Ž., & Bakšić, N. (2012). Šumski požari kao ekološki i krajobrazni čimbenik u području Dalmatinske zagore. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 2(1.), 51-64.
71. Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
72. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.

73. Setiawan, I., Mahmud, A. R., Mansor, S., Mohamed Sharif, A. R., & Nuruddin, A. A. (2004). GIS grid based and multi criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster prevention and management*, 13(7), 379. DOI: 10.1108/09653560410568507
74. Siljeg, A., Milošević R., & i Marić I. (2021). Primjena višekriterijskih GIS analiza u izvođenju indeksa rizika izbijanja otvorenih požara i optimizacija vatrogasnih intervencija na području NP Krka. *Geodetski glasnik*, 2, 87-108.
75. Šiljeg, A., Barada, M., & Marić, I. (2018). *Digitalno modeliranje reljefa (Digital Terrain Modelling)*. Zagreb: Alfa.
76. Španjol, Ž. (1996). *Biološko-ekološke i vegetacijske posljedice požara u borovim sastojinama i njihova obnova (doktorska disertacija)*. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
77. Tedim, F., Xanthopoulos, G., & Leone, V. (2015). Forest fires in Europe: Facts and challenges. In *Wildfire hazards, risks and disasters* (pp. 77-99). Elsevier.
78. Tompson, J., & Kennedy, S. W. (2013). Where exactly is the target market? Using geographic information systems for locating potential customers of a small business. *Entrepreneurial Practice Review*, 2(4).
79. Turco, M., Llasat, M. C., von Hardenberg, J., & Provenzale, A. (2014). Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Climatic Change*, 125(3), 369-380.
80. Turco, M., Llasat, M. C., von Hardenberg, J., & Provenzale, A. (2014). Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Climatic Change*, 125(3), 369-380. DOI: 10.1007/s10584-014-1183-3
81. UNISDR. (2009). *Making Disaster Risk Reduction Gender Sensitive: Policy and Practical Guidelines*.
82. UNISDR. (2017). „Wildfire Hazard and Risk Assessment.“ In: *Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
83. Vadrevu, K. P., Eaturu, A., & Badarinath, K. (2010). Fire risk evaluation using multicriteria analysis – a case study. *Environmental monitoring and assessment*, 166(1), 223-239. DOI: 10.1007/s10661-009- 0997-3

84. Valjarević, A., & i Živković, D. (2016). Analize šumskog pojasa općine Prokuplje primjenom GIS & satelitske detekcije. *Tehnički vjesnik*, 23(4), 969-972. DOI: 10.17559/TV-20140222204458
85. Valjarević, A., Živković, D., Valjarević, D., Stevanović, V., & Golijanin, J. (2014). GIS analysis of land cover changes on the territory of the Prokuplje municipality. *The Scientific World Journal*, 2014. DOI: 10.1155/2014/805072
86. Zeleke, W. M. (2019). *Wildfire Hazard Mapping using GIS-MCDA and Frequency Ratio Models: A Case Study in Eight Counties of Norway (Master thesis)*. University of Gävle.

URL IZVORI

URL 1: <https://gfmc.online/eurofire/EuroFire-Training-Materials-EF2-Techniques-BCMS.pdf>

URL 2: <https://freegisdata.rtwilson.com/>

URL 3: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-general-description>

URL 4: https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf

URL 5: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>

URL 6: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>

URL 7: <https://www.openstreetmap.org/#map=6/42.057/23.851>

URL 8: <https://www.geofabrik.de/>

URL 9: <https://qgis.org/ru/site/>

URL 10: <https://www.libreoffice.org/discover/calc/>

URL 11: <https://www.projectsmart.co.uk/smart-goals/smart-goals.php>

URL 12: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>

URL 13: <http://gim.unmc.edu/dxtests/roc3.htm>

URL 14: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>

URL 15: <http://www.meteo.co.me/>

SPISAK TABELA

Tabela 1. Pregled ukupnog broja šumskih požara kao prirodnih katastrofa i njihovih posljedica _____	21
Tabela 2. Broj šumskih požara u Crnoj Gori prema područnim jedinicama _____	23
Tabela 3. Stepen ugroženosti šuma u Budvi _____	28
Tabela 4. Legenda za klase zemljišnog pokrivača prema Corine Land Cover 2018. za Crnu Goru _____	30
Tabela 5. Fundamentalna skala _____	36
Tabela 6. Vrijednosti za RI _____	36
Tabela 7. Kriterijumi sa formatom i izvorom otvorenih geoprostornih podataka _____	39
Tabela 8. Standardizacija kriterijuma _____	46
Tabela 9. AHP matrica _____	55
Tabela 10. Površine i procenti prema kategorijama hazarda od šumskog požara na osnovu izrađene karte _____	56

SPISAK SLIKA

Slika 1. Šumski požar u Broćancu (Nikšić) _____	15
Slika 2. Podzemni požar _____	16
Slika 3. Prizemni požar _____	17
Slika 4. Visoki požari ili požari krošnje drveća _____	17
Slika 5. Uticaj vjetra na požar _____	18
Slika 6. Djelovi šumskog požara _____	19
Slika 7. Karta prostorne distribucije šumskih požara kao prirodnih katastrofa u svijetu _____	21

Slika 8. Međusobni odnos između različitih disciplina i GIS-a	24
Slika 9. Karta položaja opštine Budva	28
Slika 10. Tok primjene višekriterijumske GIS analize	34
Slika 11. Karta istorijskih šumskih požara	38
Slika 12. Karta zemljišnog pokrivača	40
Slika 13. Karta nadmorskih visina	41
Slika 14. Karta nagiba	42
Slika 15. Karta ekspozicije	42
Slika 16. Karta temperature	43
Slika 17. Karta padavina	44
Slika 18. Karta udaljenosti od puteva	45
Slika 19. Karta udaljenosti od naselja	45
Slika 20. Karta isključenih područja	46
Slika 21. Karta sa standardizovanim vrijednostima zemljišnog pokrivača	47
Slika 22. Karta sa standardizovanim vrijednostima ekspozicije	48
Slika 23. Karta sa standardizovanim vrijednostima nagiba	49
Slika 24. Karta sa standardizovanim vrijednostima nadmorske visine	50
Slika 25. Karta sa standardizovanim vrijednostima temperature	51
Slika 26. Karta sa standardizovanim vrijednostima padavina	52
Slika 27. Karta sa standardizovanim vrijednostima udaljenosti od puteva	53
Slika 28. Karta sa standardizovanim vrijednostima udaljenosti od naselja	54
Slika 29. Konačna karta hazarda od šumskog požara prema kategorijama hazarda	56
Slika 30. ROC kriva, zajedno s AUC vrijednostima	57