

Prikaz dostupnosti protupožarne tehnike obzirom na postojeću šumsku protupožarnu infrastrukturu

Cindrić, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:304986>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ŠUMARSKI FAKULTET

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I MANAGEMENT U ŠUMARSTVU

ANTE CINDRIĆ

**PRIKAZ DOSTUPNOSTI PROTUPOŽARNE TEHNIKE OBZIROM NA
POSTOJEĆU ŠUMSKU PROTUPOŽARNU INFRASTRUKTURU**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB (ožujak, 2019)

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

**PRIKAZ DOSTUPNOSTI PROTUPOŽARNE TEHNIKE OBZIROM NA
POSTOJEĆU ŠUMSKU PROTUPOŽARNU INFRASTRUKTURU**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Šumska protupožarna infrastruktura

Ispitno povjerenstvo: 1. Doc.dr.sc. Hrvoje Nevečerel

2. Prof.dr.sc. Marijan Šušnjar

3. Dr.sc. Kruno Lepoglavec

Student: Ante Cindrić

JMBAG: 0068218145

Broj indeksa: 820/16

Datum odobrenja teme: 20.4.2018.

Datum predaje rada: 05.03.2019

Datum obrane rada: 15.03.2019.

Zagreb, ožujak 2019.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Prikaz dostupnosti protupožarne tehnike obzirom na postojeću šumsku protupožarnu infrastrukturu
Title	An overview of the availability of fire fighting techniques with respect to the existing forest fire protection infrastructure
Autor	Ante Čindrić
Adresa autora	Opuzenska 1, 20350 Metković
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc.dr.sc. Hrvoje Nevečerel
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Kruno Lepoglavec
Godina objave	2019. godina
Obujam	Broj stranica: 39, slika: 22, tablica: 5, navoda literature: 34
Ključne riječi	šumske protupožarne ceste, vatrogasna postrojba, vrijeme pristupa
Keywords	forest fire roads, fire brigades, access time
Sažetak	Prostorni razmještaj i količina šumskih protupožarnih prometnica nam ne daju dovoljan uvid u stvarne mogućnosti protupožarne intervencije. Analizom požarom ugroženih područja u kombinaciji sa dostupnom infrastrukturom i mehanizacijom možemo utvrditi postojeće stanje i prepoznati kritična područja. U ovome će se radu, na odabranim područjima, izvršiti prostorne analize i ponuditi nova rješenja kojima će se omogućiti bolje planiranje budućih intervencija uslijed šumskih požara.

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA	OB ŠF 05 07
		Revizija: 1
		Datum: 15.03.2019.

„Izjavljujem da je moj *diplomski rad* izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Ante Cindrić

U Zagrebu, 15.03.2019.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Čimbenici koji utječu na nastajanje šumskog požara	2
1.1.1. Utjecaj geološke podloge	3
1.1.2. Utjecaj reljefa	4
1.1.3. Utjecaj klima	5
1.1.4. Vegetacija	6
1.1.5. Tlo i šumski požari	7
1.1.6. Utjecaj čovjeka	8
1.1.7. Ostali utjecajni čimbenici	8
2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA	9
2.1. Šumska prometna infrastruktura	9
2.1.1. Šumske protupožarne ceste	11
2.1.2. Osnovne zadaće šumskih protupožarnih cesta	14
2.2. Primjena GIS tehnologije u zaštiti od požara	16
2.2.1. Geografski informacijski sustav – GIS	16
2.2.2. Primjena GIS-a u modeliranju opasnosti od požara	17
2.3. Važnost brzine intervencije pri požarima	20
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	21
4. CILJEVI I METODE ISTRAŽIVANJA	23
4.1. Ciljevi istraživanja	23
4.2. Materijali i metode istraživanja	24
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	27
6. ZAKLJUČCI SA RASPRAVOM	35
7. LITERATURA	37

Predgovor

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc Hrvoju Nevečereću na znanstvenoj i stručnoj podršci, te savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada. Također se zahvaljujem dr.sc. Kruni Lepoglavcu na iznimnoj pomoći prilikom izrade rada.

Posebno se zahvaljujem roditeljima, bratu, sestrama i prijateljima na razumijevanju i potpori tijekom cjelokupnog studiranja.

POPIS SLIKA

Slika 1. Šumski požar

Slika 2. Primarna šumska prometnica

Slika 3. Traktorska vlaka i traktorski put

Slika 4. Žična linija

Slika 5. Protupožarna prosjeka

Slika 6. Upotreba protupožarne prosjeke s elementima šumske ceste

Slika 7. Uređenje protupožarnog puta

Slika 8. Odnos broja požara i opožarenih površina na kršu i kontinentu (%) (1995. – 2014.)

Slika 9. Sastavnice GIS-a

Slika 10. Primjer konceptualnog modela za određivanje indeksa opasnosti od požara

Slika 11. Odabrano područje istraživanja – šumarije Makarska, Metković i Vrgorac

Slika 12. Osmatračnica u park šumi Marjan, UŠP Split

Slika 13. Utvrđivanje lokacija vatrogasnih postrojbi

Slika 14. Utvrđivanje najbliže lokacije

Slika 15. Primjer izlaznog poligona dobivenog alatom New Service Area

Slika 16. Primarna prometna infrastruktura – javne i šumske protupožarne ceste

Slika 17. Počeci i završeci sastavnica cjelokupne promatrane mreže

Slika 18. Primjer dostupnosti površine na lokaciji 2

Slika 19. Prikaz ukupne dostupnosti cjelokupnoj površini istraživanog područja

Slika 20. Prikaz ukupne dostupnosti šumskim površinama

Slika 21. Prikaz pojedine kategorije dostupnosti kopnenoj površini

Slika 22. Prikaz pojedine kategorije dostupnosti šumskoj površini

POPIS TABLICA

Tablica 1. Primjer određivanja težinskog koeficijenta, klasa i rizika od požara za određenu varijablu

Tablica 2. Pozicije javnih i dobrovoljnih vatrogasnih postrojbi istraživanog područja

Tablica 3. Površine dostupne s obzirom na kategoriju dostupnosti i lokaciju vatrogasne postrojbe za cjelovitu kopnenu površinu

Tablica 4. Ukupne površine dostupne s obzirom na kategoriju za cjelovitu kopnenu površinu.

Tablica 5. Površine dostupne s obzirom na kategoriju dostupnosti i lokaciju vatrogasne postrojbe za šumske površine

1. UVOD

Šumski požar je nekontrolirano, stihijno kretanja vatre po šumskoj površini. Pripada u prirodne katastrofe. Razlikuje se po vrsti, načinu postanka i štetama. Za nastanak požara potrebna je određena temperatura, tlak i kisik. Ako se jedno od toga ukloni, požar prestaje (Pičman, 2011).

Šumski požar se može javiti u nekoliko oblika. Najčešći je prizemni požar. On nastaje kada se zapali pokrov tla, humus, lišće, iglice, mahovina, suha trava, suho drvo, panjevi. Brzo se širi te je popraćen obiljem plamena i vrućine. Iz njega se najčešće razvije ovršni požar ili požar krošanja. To se događa ako prizemni požar zahvati grane stabala u sastojini. Da bi se mogao širiti potreban je prizemni požar i vjetar. Najlakši oblik za gašenje je podzemni požar ili požar tla. On može dugo vremena biti pod tlom, teško primjetan i u određenom trenutku iznenada izbiti na površinu. Nastaje kada se zapali listinac u tlu ili podzemne naslage treseta. Taj oblik čini najmanje štete. Imamo još i požar pojedinačnih stabala, oblik koji nastaje od udara munje i čest je u prašumama, gdje ima mnogo suhih grana.

Šumski požari predstavljaju trajnu opasnost za šumska zemljišta i šume u Republici Hrvatskoj. U Hrvatskoj je od 1992. do 2006. prosječno bilo 300 šumskih požara godišnje, od 109 (1995) do 706 (2000). Ukupna prosječno opožarena površina godišnje je iznosila 15 446 ha. Šteta od godišnjeg oštećenja drvne mase i općekorisnih funkcija šuma (indirektne štete) prosječno je iznosila 707 427 000 kn, a kretala se od 40 229 000 kn do 2 626 332 000 kn. Analizom požara u RH u zadnjih 30 godina uočena su dva požarna maksimuma. Prvi požarni maksimum je u ožujku i travnju gdje veći broj požara izbija u kontinentalnom dijelu i u vezi je početka poljoprivrednih radova. Drugi je požarni maksimum u srpnju i kolovozu i vezan je isključivo za priobalje i otoke (guste i neodržavane šume crnogorice koje u pravilu egzistiraju s nagibom većim od 30%, daleko od pristupnih putova i raspoložive vode za gašenje, opterećenje prostora dodatnim brojem ljudi-turista).

Najugroženija područja su četiri dalmatinske županije, od kojih se posebno ističu Šibensko-kninska i Splitsko-dalmatinska gdje, orografski čimbenici kao što su nadmorska visina, izloženost sunčevim zrakama ili vjetrovima, nagib i oblici terena višestruko povećavaju vjerojatnost izbijanja požara.



Slika 1. Šumski požar

Šumski požari se mogu svrstati među najjače prirodne sile koje u svom pohodu uništavaju ljude, dobra i prirodne resurse. Indeks opasnosti od požara može se predvidjeti razmatranjem različitih klimatskih čimbenika i njihovih elemenata i korelaciji s uočenom zapaljivošću grana i lišća na tlu; ako su uvjeti ekstremni, pristup neovlaštenim osobama u takve šume se strogo zabranjuje (ENERGO Inspekt).

Nastanku požara u dalmatinskom području pogoduje vegetacijski pokrov koji čine crnogorične i bjelogorične šume, pašnjaci i poljoprivredna zemljišta te nemar ljudi prilikom poljoprivrednih radova, čišćenja tla i paljenja korova (Nodilo, 2003).

1.1. Čimbenici koji utječu na nastajanje šumskog požara

Na nastanak šumskog požara mogu utjecati različiti biotski i abiotski čimbenici. Tako pri tome možemo govoriti o utjecaju terena (geološki utjecaj), vegetacije, čovjeka, tehničkih sredstava (različita prometala) i prirodne pojave (munja-grom). Uz reljef, geološke podloge i tla, najvažniji čimbenici, kako ističe Rosavec (2010), koji utječu na nastajanje šumskih požara i veličinu izgorjene površine su stanje vegetacije i klimatske prilike. U klimatske prilike-čimbenike šumskog požara ubrajamo čimbenici koji utječu na pojavu požara su temperatura, vlažnost, brzina vjetera i količina količina oborina. Ovi čimbenici definiraju brzinu i postotak

isušivanja zapaljivih materijala a samim time i na zapaljivost šume. Brzina i smjer vjetra utječu na brzinu isušivanja i raspiruju šumske požare uslijed većeg priljeva kisika.

1.1.1. Utjecaj geološke podloge

Na pojavu nastanka šumskih požara veliki utjecaj ima geološka podloga. Rosavec (2010) ističe da se mogućnost nastanka i uspješno gašenje požara općenito očituje na ovaj način:

- geološki odnosi i petrografski sastav stijena utječe na tip vegetacije;
- požari lakše izbijaju na suhim bezvodnim terenima koji se sastoje od vodopropusnih stijena;
- gašenje požara je u svezi s geomorfološkim značajkama terena;
- isto je u svezi s erozijom i opasnosti od onečišćenja podzemne vode nakon požara.

Vegetacijski pokrivač, odnosno biljne zajednice, izravno ovise klimi, tipu tla i drugo. Suhoća ili bezvodnost tla imaju veliki utjecaj na stupanj zapaljivosti, posebno u mjesecima visokih temperatura. Baš iz tog razloga, od velike je važnosti povezivati hidrogeološke prilike nekoga područja. Najvažnije je klasificirati stijene na temelju vodopropusnosti, a to su:

- *propusne stijene*
- *polupropusne,*
- *i nepropusne stijene.*

Površina propusnih stijena nakon kiše ostaje suha, što daje veliku prednost nastanku požara, a samim tim otežava i njegovo gašenje jer najčešće ne postoje prirodni vodotoci. Na polupropusnim i nepropusnim stijenama također mogu izbiti požari ali povišena vlažnost i prisutnost površinskih voda omogućuje lakše gašenje požara i smanjuje njihovo širenje.

U nas se područjem krša smatra dio Dinarida koji izgrađuju plitkovodne karbonatne stijene (vapnenci i dolomiti) mlađeg mezozoika i starijeg tercijara. Petrografski sastav dinarskog krša upućuje na vezu s požarima. Postoji pet raznovrsnih skupina stijena (Dinaridi i drugi) koje se bitno razlikuju s obzirom na mogućnost nastanka, širenja i gašenja požara, te prema posljedicama koje požari mogu nanijeti.

1.1.2. Utjecaj reljefa

Reljef može utjecati svojom veličinom, pravcem pružanja, razvedenošću i oblicima terena na klimu, edafske prilike i vegetaciju, što stavlja naglasak na važnost poznavanja nadmorske visine, izloženosti sunca, ekspozicije, nagiba, reljefnih raznolikosti vremenskih prilika, tla i raslinja.

Precizna i maksimalno moguća realna procjena stupnja ugroženosti požarom ovisi o faktorima reljefa koji su od velike važnosti, prvenstveno za protupožarne službe, u klasifikaciji reljefnog terena, organiziranju i pregovaranju. Različiti oblici terena mogu biti prirodne prepreke ili pogodnosti za požare. Razlike se očituju u preglednosti i dostupnosti terena, u nastanku, brzini i pravcima širenja vatre, broju i opremljenosti gasitelja te izboru metoda i tehnika gašenja. Uzbrdo se vatra na strmim obroncima širi četiri puta brže, na blagim dva puta brže nego u ravninama. Nizbrdo se vatra širi ako vjetar puše niz obronke (kotrljanjem zapaljenih komada drva i iskrama). Veći nagib i strmine nisu pogodni za protupožarne prosjeke i pruge, odnosno prometnice. Za nastanak požara i zaštitu izuzetno je važan živi i mrtvi organski pokrov reljefa.

Pristup požarištu (ako nema prometnica) ovisi o reljefnim karakteristikama terena, tj. o litološkotektonskoj građi. Treba imati na umu da uništavanje vegetacije ubrzava razaračku djelatnost tekuće vode tj. eroziju. Voda i materijal svojom snagom nose sastavne elemente na niže dijelove. Najugroženiji su tereni s većim nagibom i mekše stijene.

Veliko značenje na promjene ekoloških prilika ima nadmorska visina koja je mjerodavna za raspored, gustoću, djelotvornost osmatračnica za visinu leta i izbacivanje vode iz aviona i slično.

Solarna ekspozicija i njen utjecaj očituju se u visokom stupnju prvotne ugroženosti za nastanak, širenje, jačinu i učestalost požara. Prvotno su najugroženije ekspozicije J, JZ, Z i JI. Slabija je ugroženost prema SZ i I, a najmanje su u opasnosti S i SI pristranci .

1.1.3. Utjecaj klima

Klima je prosječno stanje vremena na nekom području u određenom razdoblju, uzimajući u obzir prosječna i ekstremna odstupanja. Dok je vrijeme promjenjivo, klima je, uvjetno rečeno, nepromjenjiva karakteristika neke regije. Najvažniji pokazatelj koji se uzimaju u razmatranje su temperatura i relativna vlažnost zraka.

Poznavanje klime je od prvorazrednog značenja za realno stupnjevanje opasnosti i klasifikacije šumskih terena s obzirom na požarnu ugroženost te na planiranje niza preventivnih mjera i zahvata. U preventivnim i represivnim postupcima u zaštiti šumskog i drugog biljnog pokrova od požara koriste se spoznaje i podaci opće klimatologije i različitih grana primjerene klimatologije kao posrednog pokazatelja prosječnih atmosferskih prilika u nekom području.

Prema Koppenovoj klasifikaciji klime tipovi klima se što više poklapaju s vrstama raslinja. Stoga neki tipovi klime imaju i posebna imena koja pokazuju kakva je vegetacija zastupljena u toj klimi. Mnogi stručnjaci klasificiraju klimu na temelju biljnog svijeta i fitobioklimata (fitoklimat) odnosno bioklimata koji predstavlja pojas ili područje s dosta izraženim karakteristikama podneblja i baš toj klimi prilagođenu vegetaciju biljnom zajednicom. Vegetacijski pokrivač je pokazatelj od iznimne važnosti jer jasno predstavlja odnos i ovisnost podneblja i raslinstva, a požari koji tu nastaju su najčešće i najrazorniji, u južnim, posebice u primorskim krajevima.

Bioklimat, kao indirektan pokazatelj, koincidira najosjetljivije elemente požara koji su najodgovorniji za prirodni nastanak požara i njegovo širenje, poput vrste vegetacije, koja je gorivi materijal, i klimu odnosno atmosferske prilike i promjene. Priobalni kseromediterranski, termomediterranski i inframediteranski te brdski - eumediterranski i submediteranski bioklimat smatraju se najugroženijima za nastanak takvih požara.

1.1.4 Vegetacija

Vegetacija Mediterana po mnogo čemu je specifična, pa tako i po uzročno-posljedičnoj vezi sa šumskim požarima. Kemijski sastav drveća, grmlja i prizemnog rašća od velike je važnosti za inicijalnu zapaljivost i daljnju gorivost jer neke biljne vrste sadrže lako zapaljive tvari. Na području primorske Hrvatske vegetacija je prilagođena upravo mediteranskoj klimi, odnosno bogata smolama i eteričnim uljima što ju čini jače i brže zapaljivom. Dinarski i krški predjeli su klimatski, vegetacijski, i u pogledu učestalosti šumskih požara najosjetljiviji i najugroženiji u cijeloj Hrvatskoj.

Vegetacija, sušnost ili prekomjerna vlažnost su najznačajniji i najčešći ograničavajući vegetacijski čimbenici. U svakom pogledu treba razlikovati i uzeti u obzir i sadržaj vode u biljkama. Po stupnju zapaljivosti, mogućnostima potpaljivanja i brzini širenja požara razlikuju se pet glavnih kategorija (skupina) šumske vegetacije:

- *nezapaljiva vegetacija* - uvjeti za nastanak šumskih požara su maleni, unutar ove grupe su vlažne šume kontinentalnih nizina
- *teško zapaljiva vegetacija* - uvjeti za nastanak šumskih požara su maleni, unutar ove grupe su vlažne šume kontinentalnih nizina
- *umjereno zapaljiva vegetacija* - uvjeti za nastanak su umjereni, unutar skupine spadaju crnogorične šume visokog te nižeg i višeg preplaninskog pojasa
- *lako zapaljiva vegetacija* - veliki su prirodni uvjeti za nastanak požara. Ovdje se radi o kserofitnim listopadnim submediteranskim šumama (*Orno - Ostryetalia*) sjevernog primorja (Istra, Kvarner), Dalmatinske zagore, ali i o šumama u daljem zaleđu u klisurastim riječnim kanjonima (Dobra, Mrežnica, Krbava) i na kamenitim strminama krških brda.
- *veoma zapaljiva vegetacija* - uvjeti za nastanak požara su vrlo veliki. Ovdje spadaju sredozemne vazda zelene šume, tvrdolisne makije južnosredozemnog tipa i degradirani antropogeni garizi tvrdolisnati grmovi. Zbog dugotrajne ljetne suše zapaljivost ovih tipova je vrlo velika.

Unutar toga mogu se razlikovati podgrupe - vegetacijski tipovi kod kojih je zapaljivost tijekom godine podjednaka ili se mijenja (poplave - ljetne suše). Osobito važan utjecaj na biljni svijet sa stajališta protupožarne zaštite imaju atmosferska i zemljišna suša, iznimno visoke

temperature, određena toplinska i vegetacijska razdoblja. U tom smislu postoje dva klimatozonska vegetacijska područja (Bertović i dr, 1987) sljedeća:

- *kontinentalna regija*
- *mediteranska regija*

Šumski požari dolaze do izražaja tijekom sezonskih pojava tijekom godine. Korisno je poznavati ona vremenska razdoblja u godini u kojima nastupaju termički šokovi tj. temperature više od biološkog maksimuma.

Za jadranski i dinarski krš i njihove klimatske nepovoljnosti, tipična su:

- *duga i trajna razdoblja ljetne atmosferske suše (1 - 4 mjeseca)*
- *ljetne žege (2 - 4 mjeseca)*
- *plitka i skeletna tla (ljeti suha sa slojem mrtvih biljnih ostataka)*

1.1.5. Tlo i šumski požari

Pedološki uvjeti snažno utječu na nastanak i širenje požara jer o njima bitno ovisi biljni pokrov. Šumska prostirka s ostalim mrtvim dijelovima biljaka ima važno mjesto i najčešće je glavni gorivi materijal u šumi. Sastojci gorivog materijala mogu biti organskog i neorganskog porijekla, a od njihovog tipa i stanja zavisit će i ponašanje šumskih požara.

U tipove gorivih materijala ubrajaju se:

- *sitni, lako zapaljivi materijal* : obično leži na zemlji (lišće, šišarke, grančice, grane i slično), suha trava, izdanci i izbojci. Osnovna karakteristika ovog materijala jest da se brzo suši, samim tim se i lako pali. Po pravilu nastaju inicijalni požari koji se vrlo brzo šire po površini u obliku prizemnog ili podzemnog požara.
- *krupni materijal* : sastoji se od leževina, stabala debelih grana, panjeva i žila. Ovakav gorivi materijal se teže pali, bez prisustva sitnog materijala koji ga prethodno suši. Kao što je već navedeno, krupni materijal se teže pali no kad se zapali, gori dugo, čak i nekoliko dana i samim tim ga je teže i ugasiti.
- *zelena masa*: sastoji se od vegetacije koja raste, lišća, grana, zelene trave, mladih biljaka i dr. Ovaj materijal nije lako zapaljiv.

Pedološki uvjeti nastanka i širenja požara ovise o svojstvima tla, a tu pogoduje i stjenovitost terena zbog preraspodjele, odnosno veće akumulacije šumske prostirke na reduciranoj površini tla. S obzirom na to tla se mogu svrstati u dvije skupine:

- *tla s većom opasnošću od požara*: rendzine, crnice, rankeri, smeđe tlo na vapnencu i dolomite.
- *tla s manjom opasnošću od požara*: lesivirana, eutrična i koluvijalna tla i rigolana terasirana tla.

1.1.6. Utjecaj čovjeka

Ako se izuzmu požari uzrokovani gromom, svi se drugi uzroci požara ubrajaju u antropogene činitelje. To su različite djelatnosti i postupci kojima društvo ili pojedinac povećavaju ugroženost vegetacije od požara. Zapuštene poljoprivredne kulture zbog svoje neposredne blizine šumama te učestalog paljenja vatre od strane vlasnika na tim površinama su glavna opasnost za nastajanje šumskih požara, što bi trebalo biti bolje i strože zakonski regulirano.

Tako je preko 95% požara uzrokovano ljudskom djelatnošću. Događa se da se požari podmeću zbog ispaše (stocne i pčelinje), mogućnosti kasnije lakše prenamjene zemljišta i niza drugih razloga. Može se dogoditi da požar podmetnu i osobe pod opijatima (alkohol najčešće). Opušak cigarete predstavlja naročitu opasnost budući da žar cigarete gori na oko 450 °C, što je više od temperature paljenja biljnog materijala, pogotovo suhoga. U sušnim razdobljima vlaga biljnog materijala iznosi oko 4 %, a tako suh biljni materijal opušak lako zapali. Istraživanja su pokazala kako se upravo antropogeni utjecaj smatra glavnim čimbenikom pri izbijanju požara (Netolicki i dr., 2011).

1.1.7. Ostali utjecajni čimbenici

Šumski požari mogu nastati i zbog loma sunčevih zraka na bačenim staklenim bocama, njihovim krhotinama ili ostalim oblicima stakla, iskrenjem prilikom kočenja vlakova kod šuma uz željezničke pruge ili bacanjem zapaljivih materijala ili uređaja iz vlaka. Također požari mogu nastati i iskrenjem između žica na dalekovodu, padom stupa, pucanjem žica, zapaljenjem drvenih stupova. Za vrijeme iznenadnih ljetnih pa poneki puta i zimskih oluja uzročnik požara može biti udar groma. Za namjerno podmetanje požara su tolike mogućnosti da ih je teško nabrojati, pa ih zbog brojnosti nema smisla pojedinačno analizirati.

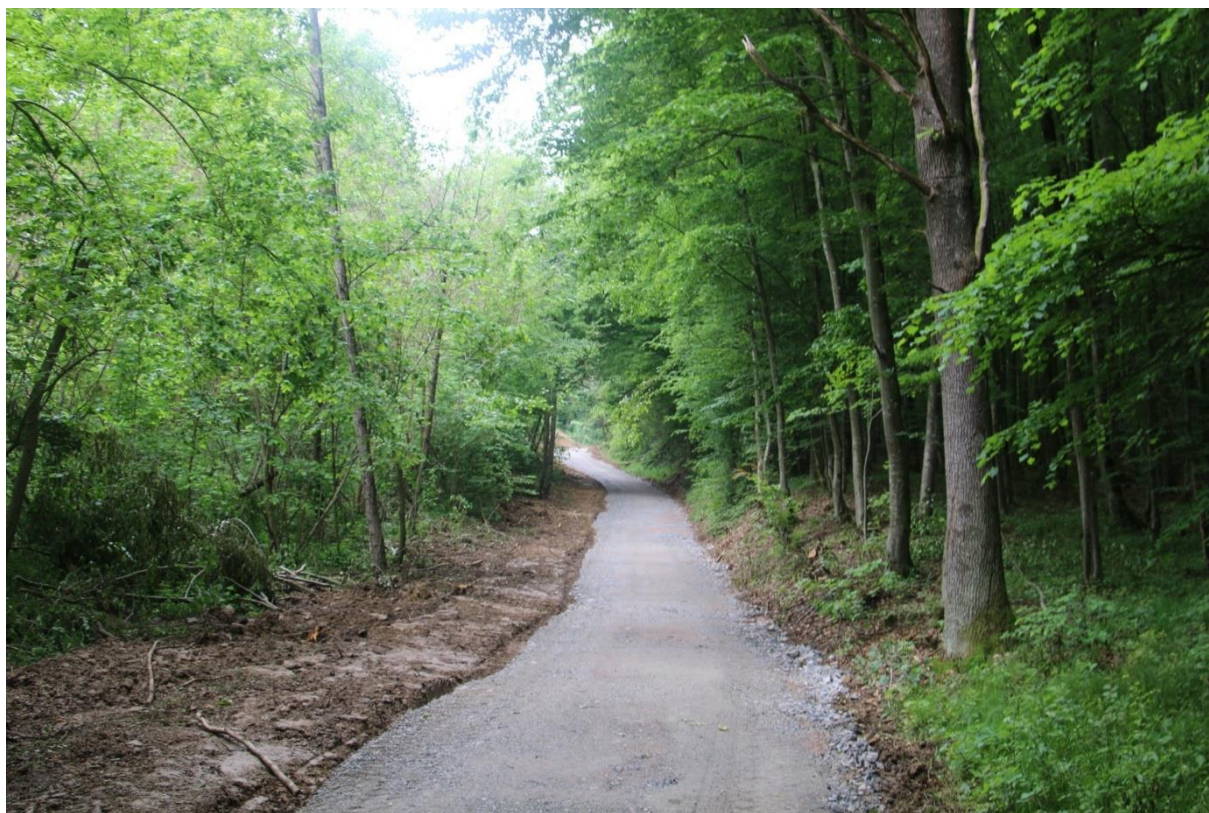
2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

2.1. Šumska prometna infrastruktura

Šumske su prometnice građevinski objekti po kojima se odvija promet. S obzirom na namjenu, položaj u sastojini, tehnička svojstva i sl. postoje razne definicije i podjele prema različitim kriterijima. Šumska prometna infrastruktura se prema vrsti šumskih prometnica dijeli na:

1. Primarne šumske prometnice
2. Sekundarne šumske prometnice

U primarne šumske prometnice ubrajamo šumske ceste. To su trajni građevinski objekti koji omogućuju stalan promet motornim vozilima radi izvršenja zadataka predviđenih planovima gospodarenja (prijevoz drva, lov, zaštita šuma, uzgojni radovi, njega). Izgrađene su od donjeg i gornjeg ustroja sa svim tehničkim obilježjima ceste, te šumi trajno oduzimaju plodno tlo (za širinu planuma, odnosno tijela ceste).



Slika 2. Primarna šumska prometnica

U sekundarne šumske prometnice ubrajamo: traktorske putove, traktorske vlake i žične linije. Sekundarne šumske prometnice su građevinski objekti koji povremeno služe za izvršenje zadataka predviđenih Planovima gospodarenja. Prvenstveno su namijenjene za traktorsku vuču, izvoženje drva forvarderima i iznošenje drva šumskim žičarama. (Pičman, 2007).



Slika 3. Traktorska vlaka i traktorski put



Slika 4. Žična linija

Budući da su mediteranske šume po mnogo čemu osobite u odnosu na kontinentalne šume, npr. s obzirom na dominaciju degradiranih sastojina, na nisku i manje vrijednu drvenu pričuvu, na mali prirast, na niski etat, na veliku opasnost od nastajanja šumskih požara, te s obzirom na način i cilj gospodarenja, za ovo su područje vezane i posebne šumske ceste – šumske protupožarne ceste. Pri sadašnjem integralnom, ekološki orijentiranom, intenzivnom i racionalnom gospodarenju šumskim ekosustavima, šumska prometna infrastruktura (šumske prometnice zajedno s javnim prometnicama koje se prema svojim karakteristikama i značenju mogu koristiti za radove u šumarstvu) predstavlja nezaobilazan čimbenik. Prometnice predstavljaju samo jedan ulaz pretpostavci takvog gospodarenja sa šumskim bogatstvom. Krške šume s oko 44% sudjeluju u ukupnoj površini šuma i šumskog zemljišta kojim gospodare Hrvatske šume d.o.o. Zagreb.

Prosječna drvena zaliha krških šuma iznosi 46 m³/ha, a godišnji sječivi etat prema Programima gospodarenja iznosi oko 390 000 m³. Područje pod kršom u Republici Hrvatskoj prostire se na površini od 23.356 km², što predstavlja oko 52% ukupne kopnene površine. Na toj površini obitava oko 2.000.000 stanovnika ili oko 41% od ukupnog stanovništva Republike Hrvatske. Preko 80% ukupnog turističkog prihoda ostvaruje se na području krša (Španjol i dr., 2000), a turizam u brutto nacionalnom dohotku sudjeluje s oko 22%.

2.1.1. Šumske protupožarne ceste

Prema Pravilniku o zaštiti šuma od požara (NN 26/2003, od 20.02.2003.) u protupožarnu infrastrukturu ubrajamo slijedeće vrste prometnih površina:

1. Protupožarna prosjeka – prosječen prostor u šumi u obliku pruge, očišćen od drveća i niskog raslinja, širine 4-15 m bez elemenata šumske ceste, koji ponekad prolazi okomito na slojnicu terena. Protupožarnom prosjekom se u ovom Pravilniku ne smatra prosječen prostor ispod trasa elektroenergetskih vodova.



Slika 5. Protupožarna prosjeka

2. Protupožarna prosjeka s elementima šumske ceste – prosječen prostor u šumi u obliku pruge, očišćen od drveća i niskog raslinja, širine 4-15 m s elementima šumske ceste koji ima namjenu prolaska vatrogasnih vozila do požarišta. Protupožarnom prosjekom s elementima šumske ceste se u ovom Pravilniku ne smatra prosječen prostor ispod trasa elektroenergetskih vodova.



Slika 6. Upotreba protupožarne prosjeke s elementima šumske ceste

3. Protupožarni put – šumska staza koja je preuska za prolaz vozila te služi za prolazak vatrogasaca i priručne vatrogasne tehnike do požarišta.



Slika 7. Uređenje protupožarnog puta

Šumske protupožarne ceste su takve šumske ceste koje su primarno projektirane i izgrađene sa namjenom da obavljaju prevenciju od šumskog požara. To su šumske ceste koje ne nose naziv gospodarske šumske ceste, jer je u vrijeme realizacije njihovog projekta siroviniska baza mediteranskih šuma bila neekonomična za eksploataciju, pa je osnovna zadaća izgrađenih cesta bila protupožarna (Pičman i dr., 1996).

Protupožarne ceste naravno obnašaju i ostale funkcije koje se pri gospodarenju šumama javljaju, pa ove ceste s punim pravom možemo nazvati višefunkcionalnim šumskim cestama (Pičman i dr., 1996). Šumske su protupožarne prometnice posebna vrsta šumskih prometnica koje su planirane, projektirane i izgrađene s osnovnom zadaćom zaštite šuma od požara. U slučaju izbijanja požara moraju omogućiti što je moguće bolje uvjete za njegovo suzbijanje (Pentek, 2002).



Slika 8. Odnos broja požara i opožarenih površina na kršu i kontinentu (%) (1995. – 2014.)

(Izvor: Potencijalna opasnost od požara otvorenog prostora u RH, str.: 30 – 40, Vatrogastvo i upravljanje požarima, br. 2/2015., vol. V, Zagreb)

Iz prikaza je vidljivo da je područje krša znatno ugroženije šumskim požarima, i po broju i po opožarenoj površini. Budući je područje Mediterana najugroženije šumskim požarima i ujedno turistički najatraktivnije, te buduću je cjelokupno gospodarstvo Republike Hrvatske posebno zainteresirano upravo za to područje, nužno je poduzeti sve potrebne korake koji će dovesti do minimaliziranja broja šumskih požara. Jedan od velikih koraka koji vodi ostvarenju tog cilja je i optimalno otvaranje šuma mediteranske krške zone s gledišta dostupnosti ugroženih područja interventnim vatrogasnim vozilima. Šumske protupožarne ceste vezane su za krško područje mediterana i submediterana gdje su šumski požari, od sveukupnosti biotskih i abiotskih štetnika, dominantan štetni čimbenik po opstojnost šuma. Osnovna odnosno primarna zadaća ovih cesta nalazi se u okviru preventivnih mjera borbe protiv šumskog požara, a u slučaju njegova nastanka, moraju omogućiti što povoljnije uvjete za njegovo suzbijanje. Ove ceste obnašaju i sve ostale zadaće koje se javljaju pri gospodarenju šumama, a propisane su Programom gospodarenja te ih s pravom nazivamo višefunkcionalnim šumskim cestama.

2.1.2. Osnovne zadaće šumskih protupožarnih cesta

Prema definiciji šumskih protupožarnih cesta vidljivo je da su one prvenstveno projektirane za zaštitu odnosno prevenciju šuma od šumskih požara, a ne za gospodarske ili neke druge svrhe kao ostale šumske ceste. Osnovne ili primarne zadaće ove vrste šumskih prometnica mogu se razdijeliti u četiri osnovne skupine:

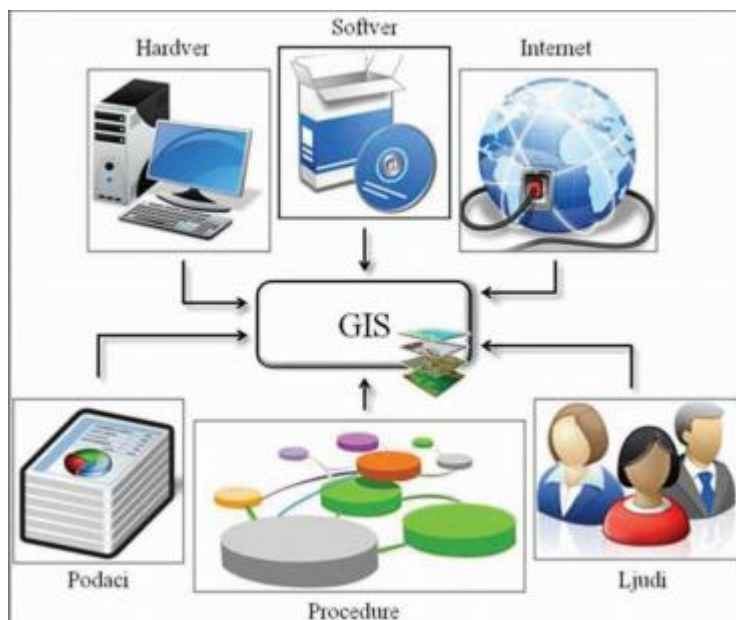
- Sve zadaće (Pičman, 2011.) koje doprinose preventivnoj i represivnoj borbi protiv šumskih požara:
 - obavljanje službe patroliranja prema planu zaštite šuma od požara;
 - u slučaju izbijanja požara šumska protupožarna cesta, ako je propisno

- održavana, služi kao neprelazni vatrobrani pojas;
- vrlo često predstavljaju granicu odjela te ako je šumska protupožarna cesta izgrađena u kombinaciji s protupožarnim prosjekama koje se protežu okomito na nju, često čine vanjsku granicu područja izvan kojega se šumski požar ne može dalje širiti;
 - pružaju mogućnost dolaska vatrogasnih interventnih vozila na mjesto nastanka požara u kraćem vremenskom intervalu, kao i brže naknadno dovoženje vode;
 - omogućuju prometovanje vozilima hitne pomoći te vozilima za prijevoz ljudi i opreme;
 - služe kao idealno mjesto gdje će vatrogasne postrojbe sačekati nadolazeću vatrenu stihiju;
 - predstavljaju mjesta do kojih se vatra širi kod lokaliziranja požara metodom paljenja predvatre odnosno mjesta odakle požare suzbijamo taktikom paljenja protuvatre;
 - ostale mjere.
- Sve zadaće (Pičman, 2011.) pri radovima propisanim Programom gospodarenja:
 - u uzgajanju šuma,
 - u uređivanju i izmjeri šuma,
 - u zaštiti šuma,
 - u iskorištavanju šuma (pridobivanju drva),
 - u lovstvu i lovnom turizmu,
 - u ostalim radovima u šumarstvu.
 - Sve zadaće i aktivnosti pri radovima korisnika šumskih protupožarnih cesta izvan šumarstva.
 - Ostale zadaće.

2.2. Primjena GIS tehnologije u zaštiti od požara

2.2.1. Geografski informacijski sustav – GIS

Definicije GIS-a su različite, ali uglavnom ovise o tome za koju ga svrhu korisnik upotrebljava. GIS (Geografski informacijski sustav) je sustav za upravljanje prostornim podacima i njima pridruženim osobinama (Dulčić, 2017). Razvoj GIS-a započeo je 1962. godine kada je Roger Tomlinson razvio kanadski geoinformacijski sustav. Nakon 1990-e godine započinje naglo širenje i razvoj GIS tehnologije, te ovaj sustav zahvaća širok spektar djelatnosti, pružajući korisnicima snažno i prikladno virtualno okruženje koje pomaže u razumijevanju prostornih odnosa i pojava. Njegove mogućnosti određene su kvalitetom prikupljenih podataka te ugrađenim alatima i ekstenzijama. GIS predstavlja skup sastavnica hardvera, softvera, podataka procedura, interneta i ljudi. Specijaliziran je za učinkovitu pohranu, ažuriranje, manipuliranje, analiziranje, interpretaciju i vizualizaciju svih oblika georeferenciranih podataka s mogućnošću rada na stolnim računalima, mobilnim uređajima i *cloud* tehnologiji (Roland i dr., 2015)



Slika 9. Sastavnice GIS-a

Izvor: file:///C:/Users/User/Downloads/VUP_1_2015_Roland_Maric_Milosevic_Primjena_GIS_tehnologije_57_71.pdf

Neka od područja primjene GIS-a su :

- Poljoprivreda i šumarstvo:
 - praćenje poljoprivrednih kultura i šuma
 - „precizna“ obrada (dodavanje potrebnih aditiva, ovisno o registriranom stanju usjeva, samo na ta uža područja, a ne na cijele uzgojne površine)
 - gospodarenje šumama
- U poslovanju tvrtki:
 - Analiza prostornog rasporeda potencijalnih korisnika
- Obrana i obavještajne službe:
 - Sustavi upravljanja trupama
 - Sustavi praćenja
- Ekologija i zaštita, upravljanje zaštićenim područjima:
 - Planiranje zaštićenih područja
 - Praćenje migracija životinja
 - Utjecaj izgradnje novih prometnica na okoliš (Baučić, 2013.).

2.2.2. Primjena GIS-a u modeliranju opasnosti od požara

Kompleksne GIS analize u vatrogastvu odnose se na modeliranje indeksa opasnosti od požara (FDI1), (Chuvieco i Salas 1996.), indeksa rizika od požara (FRI2), ili ostalih mjera koje ukazuju na ugroženost nekog područja (Patah i dr. 2011., Sivrikaja i dr. 2014.), a služe za prevenciju i suzbijanje nesreća. Prilikom generiranja navedenih modela potrebno je koristiti širi raspon čimbenika koji utječu na nastanak požara (Slika 8.), od kojih su najčešće klimatske varijable (temperatura, vlažnost, dominantni smjer vjetra), reljef (osunčanost, nagib, orijentacija padina, vertikalna raščlanjenost), povijest požara (lokacija i učestalost), društveni čimbenici (udaljenost naselja i cesta) te gorivi materijal (vegetacija istraživanog područja), (Chuvieco i Salas 1996., Patah i dr. 2011., Sivrikaja i dr. 2014.). Metoda kreiranja modela koja uključuje korištenje više čimbenika utjecaja naziva se metoda multikriterijske analize (Vasilakos i dr. 2007.). Svaki od navedenih modela uglavnom nastaje kombiniranjem više pod-indeksa korištenih varijabli

(WDI3, TDI4), (Patah i dr. 2011.), (PI5, FHC6, HRI7), (Chuvieco i Salas 1996.). Procjena težinskih koeficijenata podindeksa, nakon usporedbe njihove relativne važnosti u procesu istraživanja pojave, može se odrediti pomoću analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP8), (Vasilakos i dr. 2007.).



Slika 10. Primjer konceptualnog modela za određivanje indeksa opasnosti od požara

Izvor: file:///C:/Users/User/Downloads/VUP_1_2015_Roland_Maric_Milosevic_Primjena_GIS_tehnologije_57_71.pdf

Naime, svakoj varijabli, ovisno o vrsti indeksa, odnosno modela kojeg se generira, dodjeljuju se odgovarajući težinski koeficijenti koji ukazuju na njezin značaj u potencijalom nastanku požara. Najveći težinski koeficijenti uglavnom se dodjeljuju gorivnom materijalu, topografskim i klimatskim varijablama (Kean i dr. 2001., Patah i dr. 2011., Sivrikaja i dr. 2014.). Također, nakon reklasifikacije vrijednosti navedenih varijabli svaka od klasa skalira se prema određenim mjerama (primjerice od 1 do 5) koje ukazuje na rizik nastanka požara unutar raspona vrijednosti te varijable (Tablica 1).

Varijabla - Variable	Klase nagiba (%) <i>Classes slope (%)</i>	Mjera Rate	Rizik od požara <i>Risk of fire</i>
Nagib (težinski koeficijent = 5) <i>The slope (weight ratio = 5)</i>	0-5	1	Nizak - Low
	5-15	2	Umjeren - Moderate
	15-35	3	Visok - High
	>35	4	Ekstreman - Extreme

Tablica 1. Primjer određivanja težinskog koeficijenta, klasa i rizika od požara za određenu varijablu

Inače, svrha modeliranja je dobivanje kontinuiranih površina koje ukazuju na vrijednost tražene pojave unutar prostornog obuhvata istraživanja, odnosno točne x, y lokacije. Međutim, usprkos naglom napretku tehnologije, većina prikupljenih podataka odnosi se na točkaste podatke (meteorološke stanice, visinski podaci, lokacije požara). U tom kontekstu ističe se vrijednost GIS-a koji pruža mogućnost odabiranja primjerene metode interpolacije (geostatističke, determinističke) osiguravajući kroz dobiveni model, potpuniji pregled geografske raznolikosti određene pojave unutar istraživanog područja. Najjednostavnije rečeno, interpolacija je proces procjene vrijednosti neuzorkovanih područja na temelju skupa izmjerenih vrijednosti s poznatim koordinatama, a sve u svrhu dobivanja kontinuirane površine s nizom vrijednosti (Childs, 2004.).

Nadalje, GIS je prepoznat u drugim aspektima upravljanja i prevencije požara, a to su: analiza vidljivosti (viewshed analysis), odnosno odabir odgovarajuće lokacije za smještaj tornja za nadzor požara (Maloy i Dean 2001., Pompa-Garcia i dr. 2010., Singh i dr. 2014., Sivrikaja i dr. 2014.), indeksa gubljenja otpornosti na požare (LRR9), (Arianoutsou i dr. 2011.), simulacija širenja vatre (De Vasconcelos i dr. 1995., Dumond 2008.), odabir nove lokacije vatrogasne postaje (Algharib 2011., Držaić i dr. 2015.), određivanje zone utjecaja vatrogasne intervencije (Yagoub i Jalil 2014., Držaić i dr. 2015.), optimizaciju kretanja vatrogasnih vozila ili lokacija vatrogasnih postaja u urbanim područjima (Yan i dr. 2008., Sari i Erdi 2012.), te kretanje vatrogasaca na terenu (Forkuo i Quaye-Ballard 2013.). Dakle, korištenjem GIS-a, generiranjem odgovarajućih modela, proučavaju se analitički i geografski odnosi između navedenih varijabli čime njihova prostorna međuzavisnost postaje uočljivija.

2.3. Važnost brzine intervencije pri požarima

U vrijeme ekološke osviještenosti (Miloslavić, 2011) zbog sveukupne biološke i krajobrazne raznolikosti, neovisno o vrednovanju biljnog pokrova, svaka, pa i najmanja zelena površina, ima svoju svrhu. Zato svako gorenje treba spriječiti i zaustaviti bez ikakve dvojbe gasiti ili ne kad je u pitanju požar raslinja. U svemu tome treba posebno istaknuti zaštićene prirodne vrijednosti i poduzimati sve da se sačuvaju od požara.

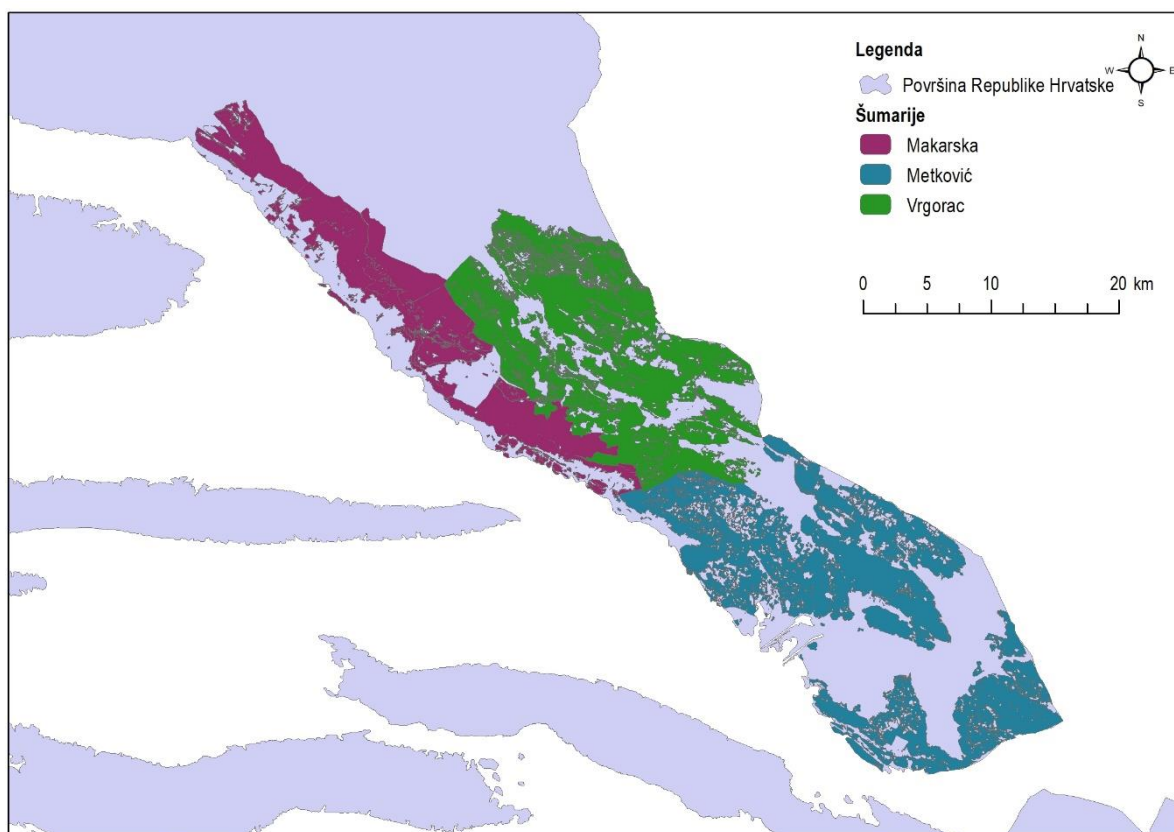
Nije nužno (Šćepanović i dr, 2012.) da analizu izrađuju direktni sudionici intervencije, ali je potrebno od njih prikupiti sve relevantne podatke. Pod time se podrazumijevaju podaci o dojavi (vrijeme i način dojave, broj poziva, prikupljene informacije od dojavitelja), izlazak na intervenciju (gasni vlak, brzina izlaska, brzina dolaska na mjesto intervencije), komunikacija voditelja intervencije s operativnim centrom, tijek intervencije, čimbenici koji su utjecali na tijek intervencije i utrošena sredstva.

Primarna odgovornost vatrogasnih službi (i profesionalnih i dobrovoljnih) je brza intervencija u slučaju požara. Kako bi se pružila učinkovita vatrogasna usluga interventne postrojbe moraju u najkraćem mogućem razdoblju doći do mjesta događaja (u slučaju naše analize požara) uz dovoljno nužne opreme za stavljanje požara pod kontrolu, gašenje požara te spašavanje i/ili pružanje hitne medicinske pomoći.

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Podružnica Split jedna je od 16 uprava u sastavu Hrvatskih šuma, a gospodari šumama između Paškog mosta i Prevlake, na prostoru četiriju županija: Zadarske, Šibensko-kninske, Splitsko-dalmatinske i Dubrovačko-neretvanske (Dragičević, 2007). Ukupna je površina koju pokriva Uprava šuma Podružnica Split 563.804,38 ha, a to je u Hrvatskim šumama najveća površina koju pokriva jedna uprava. Od ukupnih šumskih površina o kojima brina ta uprava obraslih je 444.175,16 ha, neobraslih 105.825,20 ha, a neplodnih 13.804,02 ha, dok je neuređenih površina 50.000 ha (Dragičević, 2007). Uprava šuma Podružnica Split sastoji se od 17 šumarija (Benkovac, Biograd, Brač, Drniš, Dubrovnik, Hvar, Imotski, Knin, Korčula, Makarska, Metković, Obrovac, Sinj, Split, Šibenik, Vrgorac, Zadar) a u stručnim službama ima 9 odjela (proizvodni, komercijalni, planski i analitički, za lovstvo, ekologiju, uređivanje, pravni, kadrovski i opći, financijsko-računovodstveni te informatički).

Uprava gospodari s tri državna lovišta, Sv. Ilija (Orebić), Musapstan (Bokanjačko blato) i Biokovo (Makarska) te uzgajalištem divljači Oštrica (Šibenik).



Slika 11. Odabrano područje istraživanja – šumarije Makarska, Metković i Vrgorac

Podružnica Split ima ukupno 986 otoka, pet parkova prirode te četiri nacionalna parka. U priobalju, uz brigu o očuvanju vrsta, zaštiti šuma, sadnji i drugim poslovima, s približavanjem ljetnih vrućina raste i opasnost od požara koji su najveći neprijatelji šumskih površina. Na kamenitom i suhom području najveća su opasnost za šume šumski požari pa se mnogo novca ulaže u preventivnu zaštitu. Svake godine Hrvatske šume ulažu oko 100 milijuna kuna za protupožarne preventivne radove, od čega najviše na području splitske uprave. Protupožarnim preventivnim mjerama pripadaju organizacija promatračke protupožarne službe, izgradnja i održavanje motrilišta, izgradnja i održavanje protupožarnih prometnica, postavljanje znakova upozorenja te čuvanje šuma. Budućnost je, drže u Upravi šuma Podružnica Split, u daljnjem razvoju šumske ekologije, očuvanju i zaštiti postojećega šumskog fonda te maksimalnoj angažiranosti cjelokupnoga stručnog osoblja na uređivanju šuma (Dragičević, 2007).



Slika 12. Osmatračnica u park šumi Marjan, UŠP Split

Izvor: <https://slobodnadalmacija.hr/dalmacija/split/clanak/id/175014/cuvari-marjana>

4. CILJEVI I METODE ISTRAŽIVANJA

4.1. Ciljevi istraživanja

U sklopu ovoga diplomskog rada (istraživanja) cilj je utvrđivanje postojeće primarne prometne infrastrukture na kojoj je moguće obavljati protupožarne radnje u slučaju pojave požara. Odabrano je područje šumarija Vrgorac, Metković i Makarska (UŠP Split) te su utvrđene dostupne pozicije javnih i dobrovoljnih vatrogasnih postrojbi toga područja. Postojeća prometna infrastruktura je dopunjena s terenskim podacima pri čemu će se izvršiti korekcija postojeće mreže prometnica.

Oznaka DVD postrojbe	x koordinata	y koordinata	Adresa
Lokacija 1	16,9259	43,3761	Brela, Svetog Jurja 2
Lokacija 2	17,0599	43,2629	Tučepi, Kraj 84
Lokacija 3	17,0229	43,2933	Trakače ulica 2
Lokacija 4	17,3700	43,2041	Vrgorac, Tina Ujevića 12
Lokacija 5	16,8916	43,4321	Zadvarje, Trg Franje Tuđmana 3
Lokacija 6	17,4316	43,0594	Ploče, Primorska cesta 2
Lokacija 7	17,6578	43,0563	Metković, Mostarska 10/1

Tablica 2. Pozicije javnih i dobrovoljnih vatrogasnih postrojbi istraživanog područja

Analizom postojeće protupožarne prometne infrastrukture odredit će se vrijeme potrebno za dolazak pojedine ekipe najbliže vatrogasne postrojbe za gašenje požara te predložiti daljnje mjere za skraćivanje vremena dolaska na mjesto intervencije. Dostupne će se površine simulirati kako bi se u potpunosti i jednoliko pokrilo cjelovito područje istraživanog područja. Vrijeme intervencije najviše ovisi o maksimalnim dozvoljenim brzinama kretanja vatrogasnih vozila pa su za potrebe istraživanja na terenu trebala biti utvrđena ograničenja, odnosno stanje promatrane prometne infrastrukture. Zbog obima posla ti podaci nisu utvrđeni pa je za potrebe ovoga rada odabrana prosječna (procjenjena) brzina kretanja od 60 km/h. U sklopu ovoga istraživanja će se promatrati samo prometnice koje se mogu koristiti za obranu od požara, a koje odgovaraju mogućnostima dostupa raspoloživim vatrogasnim vozilima u sastavu vatrogasnih postrojbi odabranog područja istraživanja. U ovome radu nije uzeta u obzir intervencija uz pomoć zračnih snaga jer je cilj bio utvrđivanje mogućnosti kopnenih snaga ukoliko ne postoji mogućnost odaziva zračnih vatrogasnih snaga. Uz sve to bitno je naglasiti kako je većina požara najčešće popraćena jakim vjetrom uslijed kojega je svaka zračna intervencija svedena na minimum i za pravovremenu intervenciju nam preostaju jedino kopnene vatrogasne postrojbe.

4.2. Materijali i metode istraživanja

Na postojeću je prometnu infrastrukturu nadodana dodatna utvrđena prometna infrastruktura pomoću novijih digitalnih karata, a sve su „sporne“ dionice korigirane na terenu i to neposrednim obilaskom uz pomoć djelatnika šumarija Makarska, Metković i Vrgorac. U radu su korištene kartografske podloge izrađene u poprečnoj Mercatorovoj projekciji te prema referentnom koordinatnom sustavu HTRS96 (Hrvatski terestrički koordinatni sustav za epohu 1995.55). Kontrolna izmjera vremena i traga kretanja vatrogasnih vozila obavljena je GPS uređajem Garmin GPSMAP 62s. Vožnja je obavljena dostupnim vatrogasnim vozilima odabranih vatrogasnih postrojbi. Prostorne analize za potrebe ovoga rada napravljene su u GIS-u korištenjem *ArcCataloga*, *ArcMapa* i *ArcToolboxa* pri čemu je dizajnirana mreža prometnica istraživanog područja. Prije svega je potrebno izraditi model (simulaciju) prave cestovne mreže (ESRI, 2007). Digitaliziranom i korigiranom linijskom sloju podataka se pridružuju uređeni atributni podaci (dopuštena brzina kretanja i duljina ceste u kilometrima). Na temelju tako uređenoga sloja omogućena je izrađena analiza mreže cesta koja je izrađena pomoću dodatka *Network Analyst*. Uz pomoć navedenog alata se definiraju najbliže vatrogasne postrojbe do opožarenog područja, pronalazi najbrže rute, procjenjuje vrijeme putovanja do mjesta intervencije, odabire nove potencijalne lokacije vatrogasnih stanica te definira optimalnu dislokaciju postojećih vatrogasnih postrojbi.



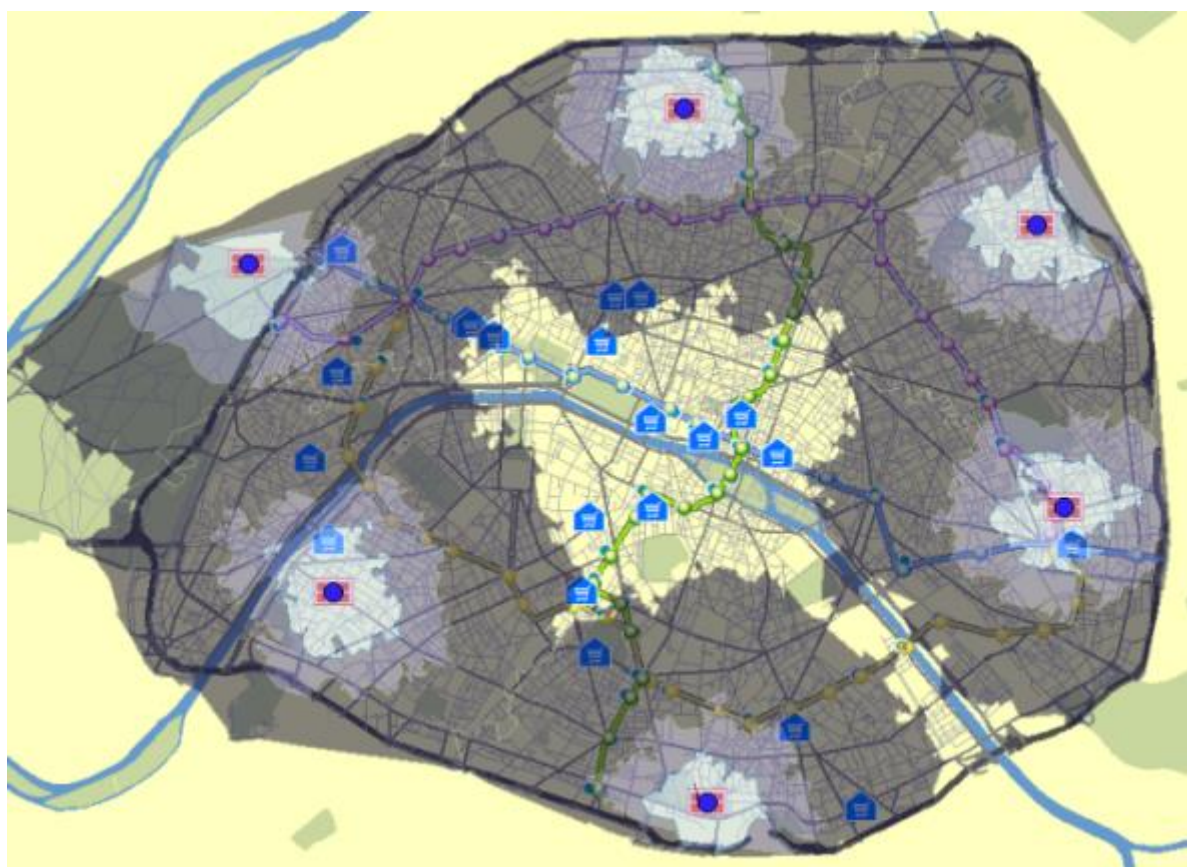
Slika 13. Utvrđivanje lokacija vatrogasnih postrojbi

Unutar *NetworAnalyst* alata se koristi *New route* koji se temelji na Dijkstra algoritmu ili algoritmu najkraćeg puta (*shortestpath algorithm*). Algoritam razbija mrežu na čvorove, a rute koje ih povezuju se vizualizirane vektorskim linijskim oblikom podataka što će biti i prikazano u rezultatima ovoga diplomskoga rada. Uz to, svaka linija između dva čvora ima povezanu vrijednost (trošak ili udaljenost) koju je potrebno savladati da bi se došlo do određišanog čvora ili točke (Karadimas i dr., 2007.).



Slika 14. Utvrđivanje najbliže lokacije

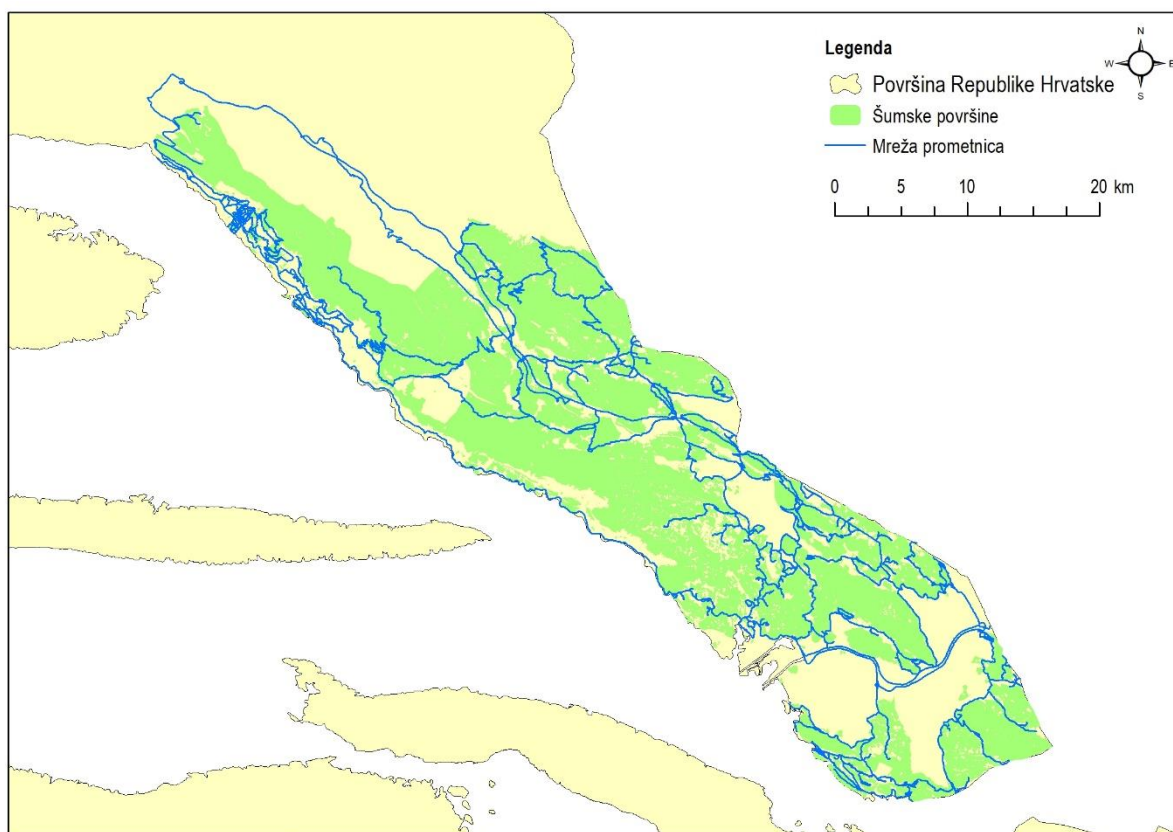
U modelu izrađenom za potrebe ovoga istraživanja je upotrijebljen alat *New Service Area*, pomoću kojega se dobivaju poligoni koji odgovaraju vremenima koja će se odabrati. *New Service Area* nam daje izlazni poligon koji prikazuje područje intervencije određene postaje kroz vremenski aspekt (standardno vrijeme intervencije) i udaljenost. Upotrijebljeni su i alati *Select*, *Clip*, *Merge* i *Erase*.



Slika 15. Primjer izlaznog poligona dobivenog alatom *New Service Area*

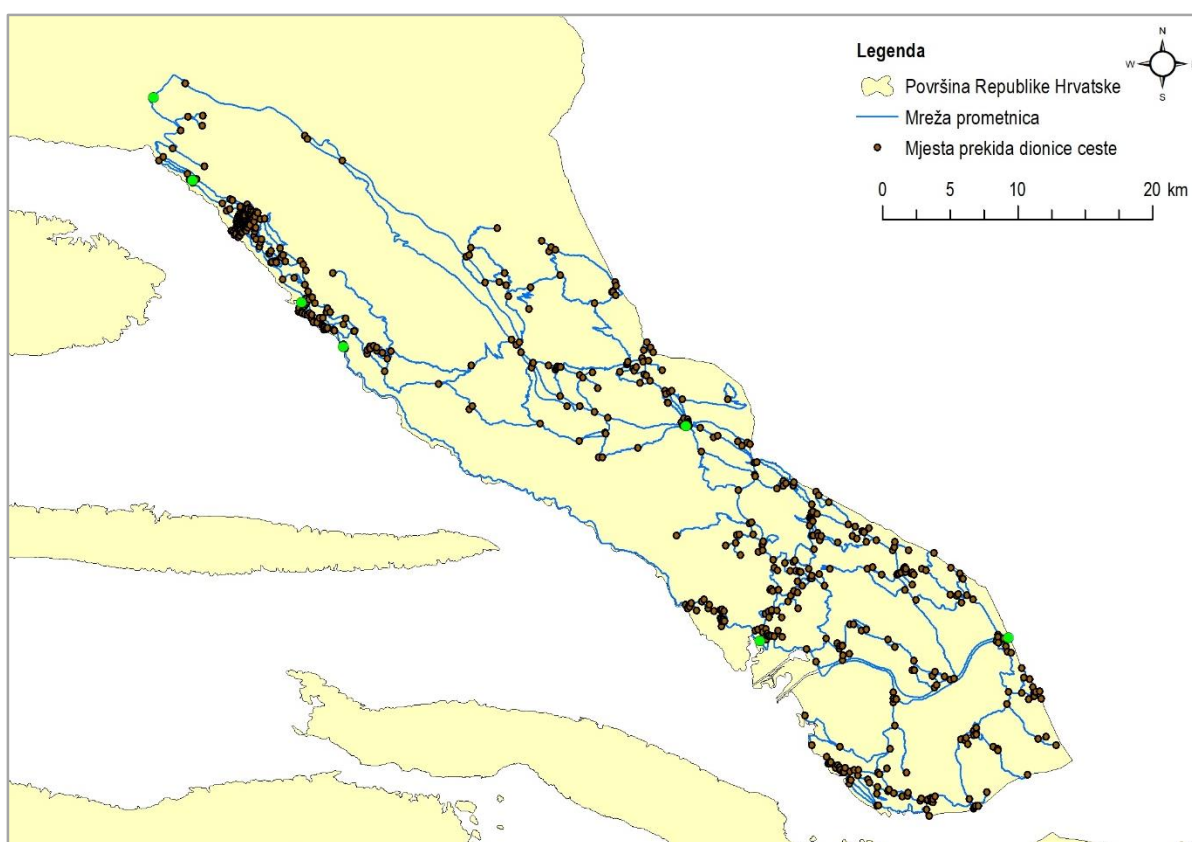
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Promatrano s aspekta GIS-a i na temelju prostornog razmještaja prometnica koje se mogu koristiti za protupožarne intervencije, postojeća je prometna infrastrukturu nadopunjena opisanim metodama prikupljanja terenskih podataka. Za potrebu ovoga rada su korišteni podaci Hrvatskih šuma, UŠP Split, Hrvatskih cesta i terenski podaci prikupljeni neposrednim snimanjem. Alati korišteni u ovome radu omogućili su nam izradu nadopunjenog katastra koji je predstavljao ulazni podatak za sve potrebne analize predviđene ovim istraživanjem. Ukupna duljina prometnica koje se mogu koristiti prilikom protupožarne intervencije korištenih u ovome radu iznosi 920,90 kilometara, a postojeće su prometnice razdijeljene u 825 odsječaka (dionica) istraživane mreže te 661 točka sjecišta (raskrižja dionica).



Slika 16. Primarna prometna infrastruktura – javne i šumske protupožarne ceste

Mreža prometnica predviđenih za protupožarnu intervenciju razdijeljena je na dionice koje su definirane čvorovima (točkama sjecišta), odnosno raskršćima i završecima cesta zbog načina korištenja alata i predstavljaju obavezni međukorak. Za svaku se dionicu pokušalo odrediti maksimalnu brzinu kretanja koja se kreće od minimalnih 20 do 90 km/h, a iz spomenutih razloga je vrijednost uprosiječena i iznosi 60 km/h te je ista korištena pri daljnjim analizama. Mreža prometnica uređena na spomenuti način preduvjet je za sve daljnje analize, a ujedno predstavlja i atributnu bazu na temelju koje je moguće, simulacijama, postići optimalno rješenje.

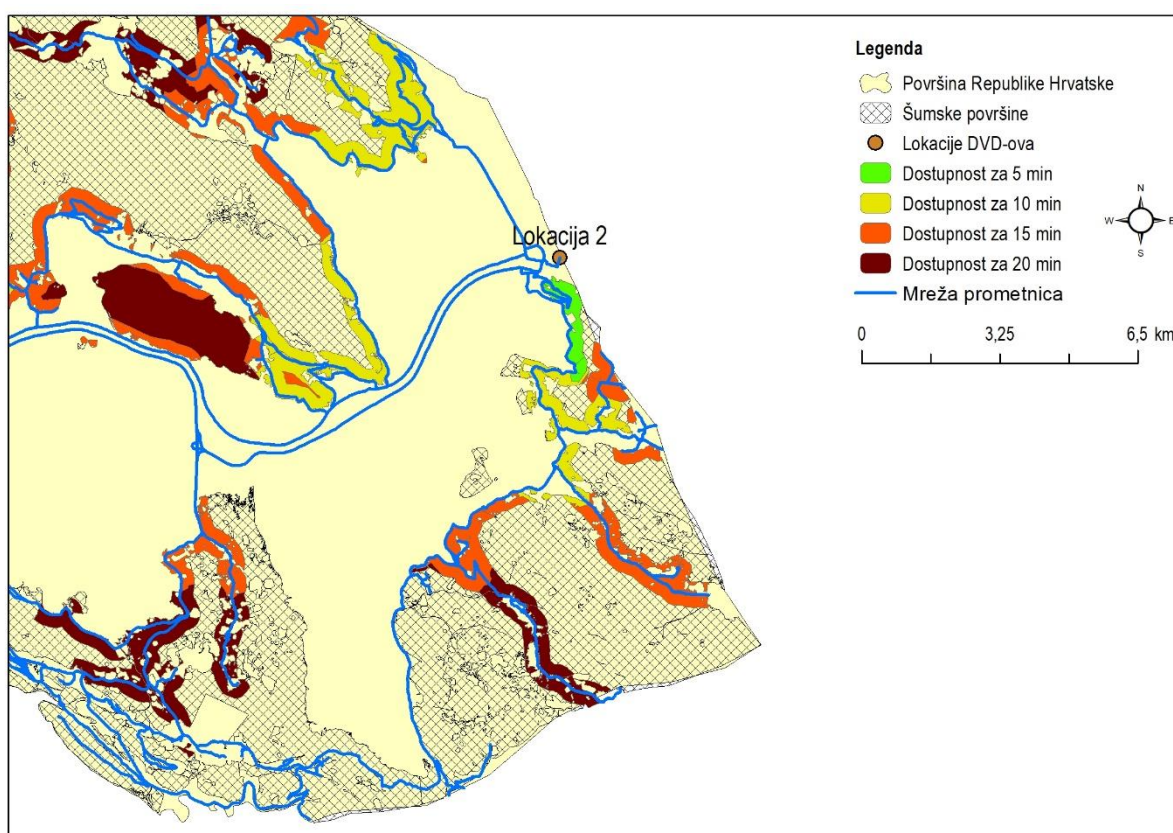


Slika 17. Počeci i završeci sastavnica cjelokupne promatrane mreže

Simulacijom, odnosno slučajnim odabirom su postavljene točke na cijelom području istraživanja koje predstavljaju simulirana područja nastanka požara. Za svaku točku je izvršena analiza potrebnog vremena za intervenciju s jedne od mogućih 7 lokacija postojećih vatrogasnih postrojbi (tablica xx). Također je napravljena i analiza prostornog razmještaja simuliranih točaka požara s obzirom na površinu pokrivenu slučajno odabranim točkama. Podaci pokazuju pravilan disperzivan raspored simuliranih točaka požara što je potvrđeno

statističkom analizom pomoću alata *Average Network Neighbor* i visokim z-score rezultatom čime i sve ostale analize prikazuju stvarne mogućnosti korištenja modela iz ovoga istraživanja.

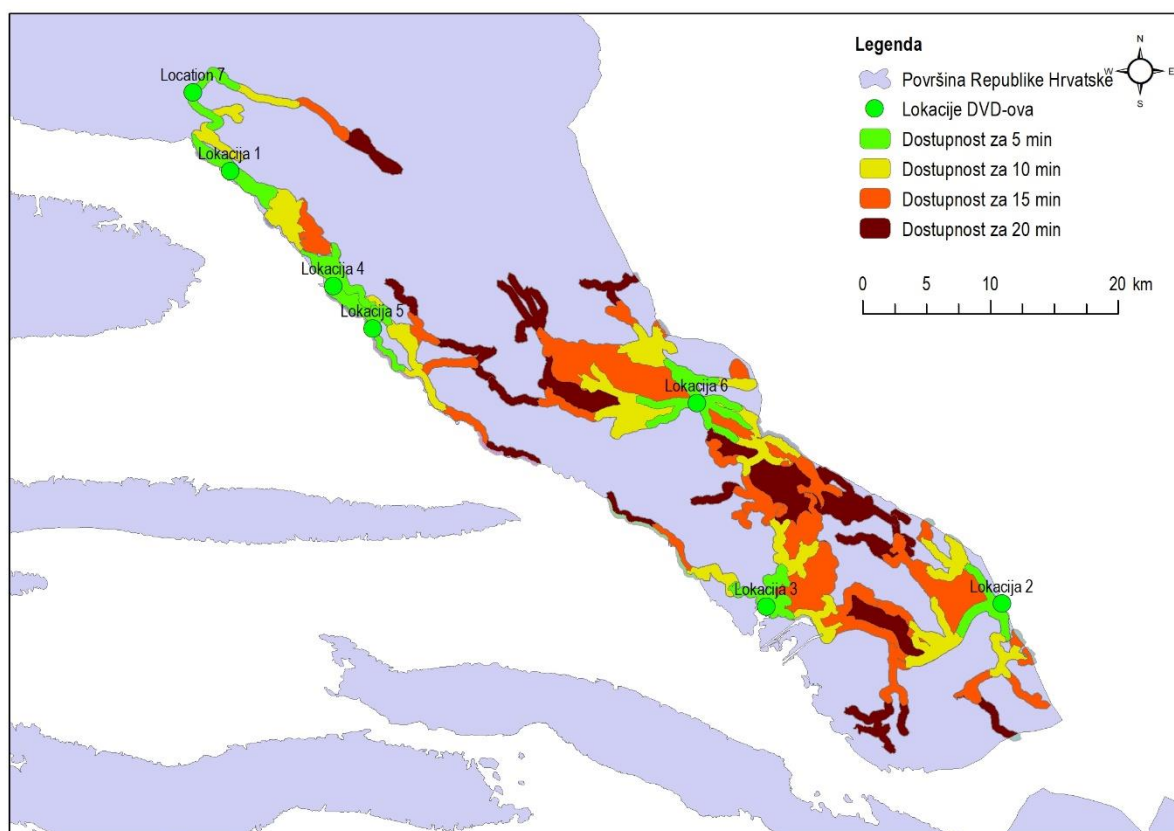
Za svaku je simuliranu točku određena točna udaljenost iz stvarnih položaja vatrogasnih postrojbi (dobrovoljnih vatrogasnih društava), a izražena je u kilometrima. Također je određeno i vrijeme potrebno za intervenciju izraženo u minutama. Rezultati analize su pokazali kako su neke lokacije iako relativno bliže teže dostupne za intervenciju što bi se još dodatno pokazalo ukoliko bi bile pridodane različite vrijednosti brzine kretanja vozila za pojedine dionice što zahtjeva dodatne analize.



Slika 18. Primjer dostupnosti površine na lokaciji 2

Analizom je utvrđena dostupna površina sa svake lokacije na koju vatrogasno vozilo može intervenirati unutar 5 min, 10 min, 15 min i 20 min. Također je izrađena i analiza za sve šumske površine ukoliko promatramo samo ugroženost šume i šumom prekrivene površine. Raščlanimo li analizirane podatke možemo primjetiti kako je generalno dostupnost vrlo mala za istraživano područje, a razlog leži u nedovoljnoj otvorenosti javnim i šumskim prometnicama. Razlozi leže u maloj vrijednosti šumskih površina zbog čega se nije dovoljno

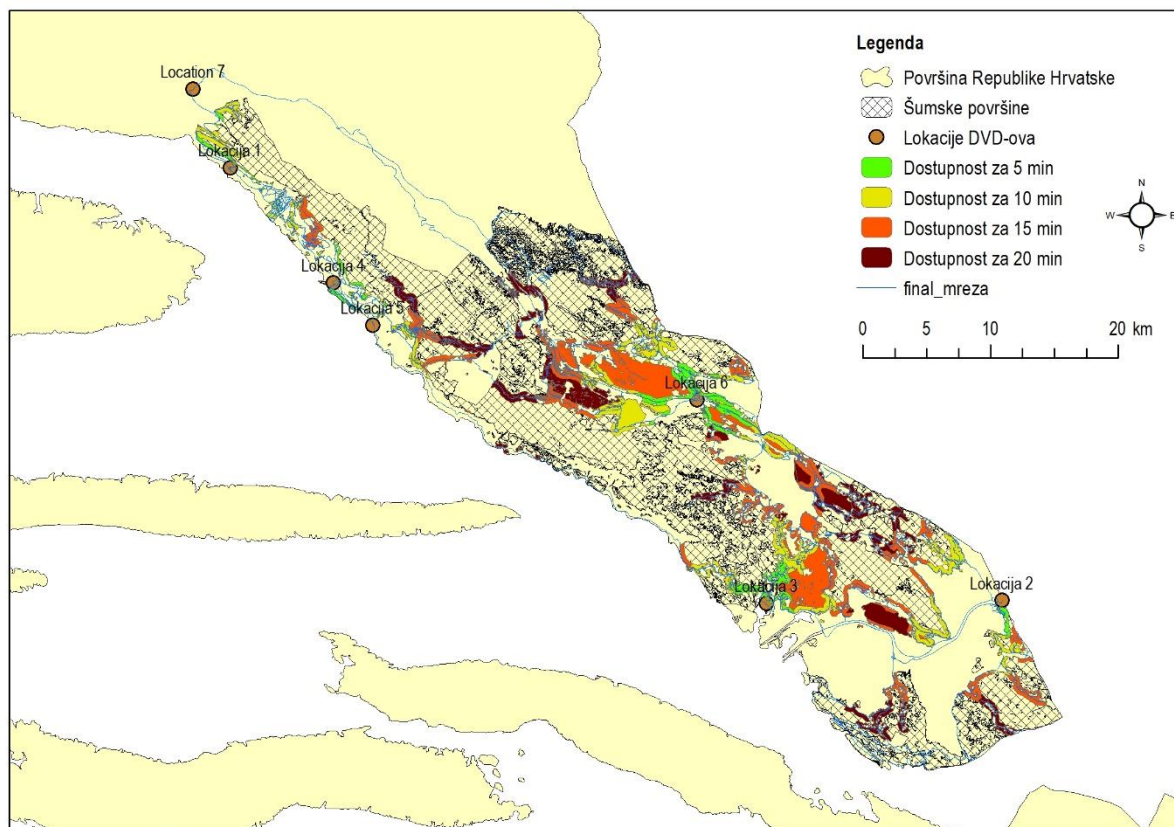
ulagalo u izgradnju, a posljedica su velike opožarene površine kojima svjedočimo zadnjih godina. Također se može primjetiti da su vatrogasne postrojbe stacionirane u blizini gradova što dodatno umanjuje mogućnost pravovremenog dostupa površini. Oko gradova je i otvorenost veća pa su i površine oko gradova dostupnije u manjem vremenskom periodu što omogućava dovoljnu zaštitu privatne i neke društvene imovine. Isto se ne može reći i za državnu imovinu – šumu.



Slika 19. Prikaz ukupne dostupnosti cjelokupnoj površini istraživanog područja

Korištenjem alata *New Service Area* utvrđene su i prikazane grafički površine svih kategorija vremena intervencija kako bi se vidjela pokrivenost površine zaustavljanja požara s obzirom na odabrana vremena. Površine za koje je potrebno izvršiti detaljnije analize i odabrati idejne trase budućih prometnica koje bi omogućile smanjenje vremena pristupa jasno su vidljive na priloženim kartama. Na svim mjestima gdje je vrijeme pristupa površini intervencije veće od 15 minuta potrebno je predvidjeti nove trase (šumskih) prometnica, održavanje ili rekonstrukciju postojećih u svrhu cjelovite zaštite ugroženog područja. Na područjima gdje je utvrđena dostupnost za 20 minuta potrebno je uložiti dodatne napore za povećanjem brzine prometovanja čime bi se smanjilo vrijeme dolaska na intervenciju.

Analizom su utvrđene točne površine za svaku odabranu kategoriju (5 min, 10, min, 15, min i 20 min) posebno za cjelovitu površinu, a posebno za šumske površine što nam ukazuje na potrebu za otvaranjem područja pretežno šumskim protupožarnim prometnicama. Nadalje, vrlo bitan je i podatak da je udaljenost pristupa površini korištena u ovome radu 300 m i eventualnim izmjenama, a i korekcijama udaljenosti pristupa od pojedine ceste površini bi se površine dostupnih površina smanjivale i povećavale proporcionalno sa smanjenjem ili povećanjem odabranih udaljenosti dosega sa prometnica.



Slika 20. Prikaz ukupne dostupnosti šumskim površinama

Analizama su utvrđene površine svake pojedine lokacije za svaku od odabranih kategorija dostupnosti. Iz dobivenih je podataka vidljivo da su velike razlike u mogućnosti djelovanja pojedine vatrogasne postrojbe što pojedinim vatrogasnim ekipama dodatno otežava djelovanje na terenu.

Oznaka DVD postrojbe	Dostupnost ukupnoj kopnenoj površini, ha			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Lokacija 1	836,53	2.072,09	3.644,32	4.904,05
Lokacija 2	773,74	2.847,54	6.516,85	10.418,24
Lokacija 3	884,59	2.460,84	6.549,65	10.415,47
Lokacija 4	1.207,75	2.340,54	4.210,25	6.100,57
Lokacija 5	772,77	2.364,74	3.794,41	6.077,06
Lokacija 6	1.715,07	4.992,28	10.482,86	17.426,95
Lokacija 7	586,58	1.451,08	2.206,19	3.503,69
Ukupno dostupno	6.777,04	18.529,10	37.404,54	58.846,03

Tablica 3. Površine dostupne s obzirom na kategoriju dostupnosti i lokaciju vatrogasne postrojbe za cjelovitu kopnenu površinu

Promatramo li razdvojeno podatke dostupnih površina (sve do 20 min) možemo uočiti kako se površine razlikuju jer je na pojedinim površinama moguć dolazak dvije vatrogasne postrojbe. Kada napravimo analizu u kojoj se preklopi anuliraju stvarno dostupna površina je manja i predstavlja stvarnu vrijednost površina kojima je moguće pristupiti u roku od 20 minuta.

	Dostupnost ukupnoj kopnenoj površini, ha			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Sve lokacije zbirno (sa preklopljenim zajednički dostupnim površinama susjednih DVD-ova)	5.194,84	16.237,27	30.663,70	43.060,19

Tablica 4. Ukupne površine dostupne s obzirom na kategoriju za cjelovitu kopnenu površinu.

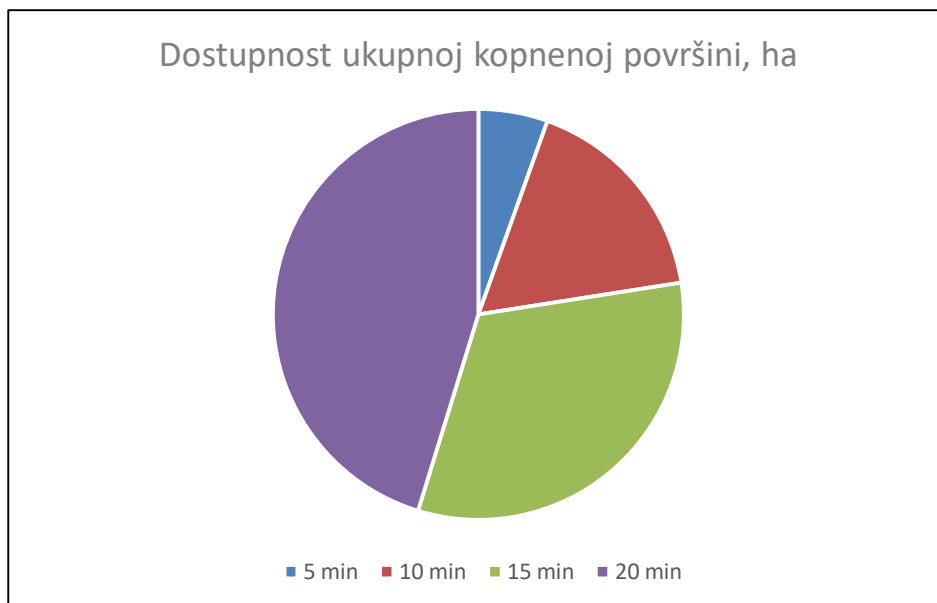
Detaljnijom analizom, a sukladno podacima o šumskim površinama, primjećuje se kako je udio šumskih površina u zoni dostupa manji, ali s obzirom na dodir površina i kultura koje se na njima nalaze ne može se šume i šumske područja izolirati od ostatka jer je u uvjetima širenja požara svaki oblik gorive tvari zaslužan za širenje istog. Time se nameće zaključak kako je problem gorenja šuma sveobuhvatan, a ne samo nešto čime bi se trebali baviti šumari kada se razmišlja o potencijalnom izvoru financiranja novih protupožarnih prometnica.

Oznaka DVD postrojbe	Dostupnost šumskoj površini (državnim šumama), ha			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Lokacija 1	134,29	617,86	1.066,11	1.287,03
Lokacija 2	90,71	1.046,29	2.241,47	4.464,75
Lokacija 3	468,36	1.392,62	3.649,26	5.437,58
Lokacija 4	213,58	470,08	1.108,25	2.054,86
Lokacija 5	98,74	495,28	1.067,87	2.135,62
Lokacija 6	920,79	2.864,34	6.676,48	10.226,66
Lokacija 7	26,29	381,11	472,78	625,07
Ukupno dostupno	1.952,75	7.267,59	16.282,23	26.231,57

Tablica 5. Površine dostupne s obzirom na kategoriju dostupnosti i lokaciju vatrogasne postrojbe za šumske površine

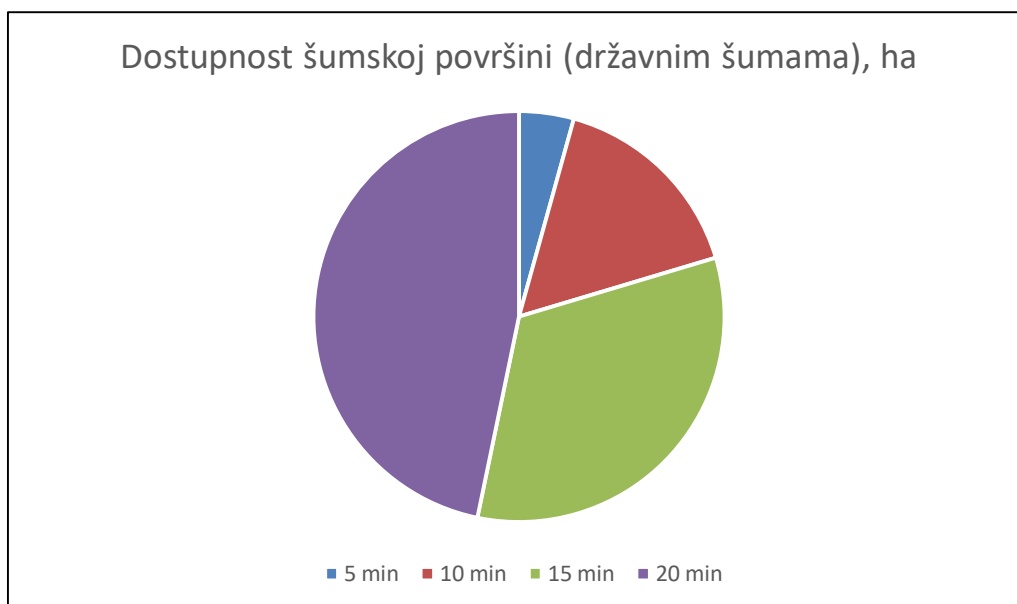
Analiza samo šumskih površina s obzirom na dostupnost pokazala je zabrinjavajuće podatke u kojima leži razlog za velikim opožarenim šumskim površinama, a odnosi se na izuzetno velik postotni udio (62,94 %) nedostupne površine. Ovom je analizom napravljen korak u identificiranju nedostatka protupožarne infrastrukture i potrebom za daljnim ulaganjima ukoliko postoji interes za očuvanjem površina pod šumom istraživanog područja:

	Dostupnost šumskoj površini (državnim šumama), ha				Nedostupno	Postotni udio nedostupne površine
	5 min	10 min	15 min	20 min	potrebno više od 20 min	
Sve lokacije zbirno (sa preklapljenim zajednički dostupnim površinama susjednih DVD-ova)	1.870,51	6.558,18	14.851,95	22.370,97	37.992,64	62,94%



Slika 21. Prikaz pojedine kategorije dostupnosti kopnenoj površini

Prikaz površina s obzirom na kategoriju dostupnosti pokazuje kako je zapravo vrlo mala površina (manje od 25 %) unutar vremena dolaska na intervenciju od 10 minuta. Razlog vjerojatno leži u malom broju vatrogasnih postrojbi i nedovoljnoj količini prometnica koje vatrogasne postrojbe mogu koristiti. Daljnje analize bi trebale pokazati opravdanost predmetnih istraživanja s ciljem jasne strategije djelovanja u prostoru.



Slika 22. Prikaz pojedine kategorije dostupnosti šumskoj površini

6. ZAKLJUČCI SA RASPRAVOM

- GIS sa svojim alatima predstavlja vrlo učinkovito sredstvo za nivo detekcije stanja mogućnosti prevencije, odnosno intervencije u slučaju izbijanja požara te optimizacije potreba vatrogasnih službenika.
- Nedovoljna financijska sredstva za nabavu odgovarajuće računalne opreme (hardvera i softvera) te manjak osoblja upoznatog s mogućnostima GIS tehnologije, otežavaju prijeko potrebnu implementaciju GIS tehnologija unutar vatrogasne službe.
- Otvorenost od 15,26 m/ha, promatramo li samo utjecaj prometne infrastrukture na šumske površine istraživanog područja, u usporedbi sa činjenicom da je 62,94 % površine izvan dosega pravovremene intervencije ukazuje nam na potrebu za novim pristupom u određivanja optimalne gustoće protupožarnim prometnicama.
- Pravovremenost dojava eventualnog požara ovisi uvelike o mjestima za osmatranje što nije uzeto u obzir u sklopu ovoga rada i bilo bi poželjno kada bi se nastavak analiza upotpunio i tom informacijom, jer Netolicki i dr. (2012) navode nadogradnju sustava dojava novim osmatračnicama kao jedini efikasan način smanjenja štete koju uzrokuju požari otvorenoga prostora.
- Generalno gledajući promatranih 7 lokacija položaj vatrogasnih postrojbi nije postavljen na idealnim pozicijama s obzirom na razmještaj prometnica i konfiguraciju područja istraživanja te je, kako navode u svom radu Držaić i dr. (2014), u tim slučajevima potrebno ili osnivanje novih vatrogasnih postrojbi ili njihovo sezonsko premještanje radi bolje efikasnosti i bolje zaštite, a moglo bi se reći i dislociranje pojedinih.
- Upotrebe odgovarajućih softvera u planiranju vatrogasne intervencije uslijed požara te sistematsko pretraživanje najpogodnijih putanja potrebno je uzeti u obzir i sa eventualnim diaslociranjem postojećih vatrogasnih postrojbi u cilju „približavanja“ potencijalno opožarenim područjima. Laički gledano, a temeljem odrađenih analiza, nejasno je zašto su vatrogasne postrojbe striktno vezane uz urbane sredine promatramo li samo požare otvorenih područja. Eventualno uključivanje novih vatrogasnih postrojbi koje bi intervenirale samo u neurbanim područjima uvelike bi olakšalo pravovremeno djelovanje i znatno smanjilo vrijeme dostupa površini, odnosno učinilo dostupnim i veće površine.

- Brza intervencija uslijed rano otkrivenog požara uvelike smanjuje štete uzrokovane požarom, a time i troškove sanacije opožarenih područja. Analize vidljivosti površina s obzirom na postojeća (ili nova simulirana) opažачka mjesta bi dale jasniju sliku u smislu pravovremene reakcije (intervencije).
- Podaci prikazani u ovome radu daju jasan pomak u odnosu na prijašnje radove (Žaček, 2017) pri čemu se vidi da veće promatrane površine sa svim svojim specifičnostima zahtjevaju dodatne napore na svim razinama. Terenski uvjeti, kvantitativni pokazatelji o prometnoj infrastrukturi te brojnost, odnosno prostorni razmještaj vatrogasnih postrojbi uvelike određuju uspješnoj functioniranja cjelokupnog vatrogasnog sustava pojedinog područja.

7. LITERATURA

1. Algharib, S. M. (2011): Distance and coverage: an assessment of location-allocation models for fire stations in Kuwait City, doktorska disertacija, Kent State University, Kuwait
2. Arianoutsou, M., Koukoulas, S., Kazanis, D. (2011): Evaluating post-fire forest resilience using GIS and multi-criteria analysis: an example from Cape Sounion National Park, Greece, *Environmental management*, 47(3), 384-397
3. Baučić, M., 2013: Geografski informacijski sustavi, dostupno na: <http://www.zzpudnz.hr/LinkClick.aspx?fileticket=1PHDKlf-0Po%3D&tabid=411>
4. Bertović, S. i Lovrić, A.Ž., 1987: Vegetacija i kategorije njezine prirodne ugroženosti od požara. Osnove zaštite šuma od požara, CiP, Zagreb, str. 121–134.
5. Childs, C. (2004): Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst, *ArcUser*, July-September, 32-35
6. Chuvieco, E., Salas, J. (1996): Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS, *International Journal of Geographical Information Science*, 10(3), 333-345.
7. De Vasconcelos, M. J. P., Pereira, J. M. C., Zeigler, B. P. (1995): Simulation of fire growth in GIS using discrete event hierarchical modular models, *EARSel advances in remote sensing*, 4, 54-62
8. Dragičević, J.S., 2007: Gospodarenje šumama u Hrvatskoj i na primorskom području, *Građevinar* 59 – Zaštita okoliša, dostupno na: <http://www.casopisgradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-59-2007-05-07.pdf>
9. Držaić, D., Kavran, M., Antolović, A. (2015): Determination of appropriate locations for seasonal dislocation of fire stations in the Šibenik-Knin County based on road network analysis, *kartografija i geoinformacije (cartography and geoinformation)*, 13(22)
10. Dulčić F., 2017: HvarR&D – Uvođenje GIS i ICT tehnologija u kurikulume fakultativne nastave i njihova primjena u održivom razvoju otoka Hvara, dostupno na: <http://www.hvard.eu/wp-content/uploads/2017/03/Smjernice-za-primjenu-GIS-a-ulokalnim-djelatnostima.pdf>
11. Dumond, Y. (2008): Forest fire growth modelling with geographical information fusion, in *information fusion*, 2008 11th International Conference, 1-6
12. F. Sivrikaya, B. Sağlam, A.E. Akay, N. Bozali (2014): Evaluation of forest fire risk with GIS; *Polish Journal of Environmental Studies* 23 (1)

13. Forkuo, K. E., Quaye-Ballard, J.A. (2013): GIS based fire emergency response system, Department of Geomatic Engineering, Kumasi
14. Keane, R. E., Burgan, R., van Wageningen, J. (2001): Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling, *International Journal of Wildland Fire*, 10(4), 301-319.
15. Maloy, M. A., Dean, D. J. (2001): An accuracy assessment of various GIS-based watershed delineation techniques, *photogrammetric engineering and remote sensing*, 67(11), 1293-1298
16. Miloslavić M., 2011: „Vatrogasna operativna i zaštićene prirodne vrijednosti“, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, Vol. I, 1-2/2011, str. 77-78, ISSN 1848-347X
17. Netolicki A., Blažević T., Antolović A., 2011: Višekriterijska analiza rizika od požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji, *Stručni rad- Zagreb*
18. Nodilo J., 2003: Požari otvorenog prostora otoka i priobalja – slučajnost ili logičan slijed događanja?, *Šumarski list br. 3 4. CXXVII (2003)*, 171-176, dostupno na: <http://www.sumari.hr/sumlist/pdf/200301710.pdf>
19. Patah, N. A., Mansor, S., Mispan, M. R. (2001): An application of remote sensing and geographic information system for forest fire risk mapping, *Malaysian Centre for Remote Sensing (MACRES)*
20. Pentek, Tibor: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike 2002., doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb
21. Pičman, 2011: interna skripta iz nastavnog predmeta Šumske protupožarne prometnice
22. Pičman, Dragutin Šumske prometnice, Zagreb: Šumarski fakultet : Hrvatske šume, 2007
23. Pičman, Dragutin; Pentek, Tibor: Čimbenici koji utječu na opravdanost izgradnje mreže šumskih prometnica // *Zaštita šuma i pridobivanje drva / Sever, Stanislav (ur.). Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut, Jastrebarsko, 1996. str. 293-300*
24. Pompa-García, M., Solís-Moreno, R., Rodríguez-Téllez, E., Pinedo-Álvarez, A., Avila-Flores, D., Hernández-Díaz, C., Velasco-Bautista, E. (2010): Viewshed analysis for improving the effectiveness of watchtowers, in the north of Mexico, *Open forest science journal*, 3, 17-22.
25. Roland V., Marić I., Milošević R., 2015: Primjena GIS tehnologije u vatrogastvu, *VATROGASTVO I UPRAVLJANJE POŽARIMA*, br. 1/2015., vol. V, Zagreb, dostupno na : <https://hrcak.srce.hr/file/215479>

26. Rosavec, R. 2010: Odnos čimbenika klime i zapaljivosti nekih mediteranskih vrsta kod šumskih požara. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
27. Sari, F., Erdi, A. (2012): A network analyst design for providing the shortest intervention time of the emergency vehicles as like ambulance and fire fighting to the emergency events, a case study Konya, Fig working week 2012 knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage Rome, Italy
28. Singh, Y., Sharma, M.P, Sharma, S.D, Prawasi, R., Yadav, K., Hooda, R.S. (2014): Application of GIS technique to select suitable sites for erecting watch towers in forest areas of mountainous tract, Int. J. computer technology and applications, Vol 5 (2), 462-468
29. Šćepanović, J., Bučan, P., Kovačević, I., 2012: Analiza intervencije gašenja požara „DES“ Split. Vatrogastvo i upravljanje požarima, br. 2/2012., vol. II, Zagreb, str. 67-80.
30. Španjol, Željko; Barčić, Damir; Guić-Butorac, Lukrecija: Sanacija opožarenih površina u sastojinama crnog bora (*Pinus nigra*, Arnold) na Vidovoj gori, otok Brač // Unapređenje poljoprivrede i šumarstva na kršu / Maleš, Petar ; Maceljki, Milan (ur.). Zagreb: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 2000. str. 96-97 (predavanje, domaća recenzija, sažetak, ostalo)
31. Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., Kallos, G., Matsinos, Y. (2007): Integrating new methods and tools in fire danger rating; International Journal of Wildland Fire, 16(3), 306-316
32. Yagoub, M. M., Jalil, A. M. (2014): Urban fire risk assessment using GIS: case study on Sharjah, UAE
33. Yan, Y., Qingsheng, G., Xinming, T. (2005): Gradual optimization of urban fire station locations based on geographical network model, School of Resource and Environment Science, Wuhan University, China
34. Žaček, J (2017): Analiza protupožarne infrastrukture otoka Visa, Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.