

Primjena GIS tehnologije u vatrogastvu

Application of GIS technology in firefighting

Vlatko Roland
Ivan Marić
Rina Milošević

SAŽETAK

Učinkovit vatrogasni sustav, osim detaljnog poznavanja područja na kojem se planira zaštita od požara, zahtjeva sve veći obim stručnog znanja. U članku se razmatraju mogućnosti implementacije GIS-a u vatrogasnu struku. Detaljno su prikazani načini korištenja GIS-a u svrhu optimiziranja preventivnih mjera i operativnih postupaka. Rad se temelji na analizi i interpretaciji znanstvenih radova onih sustava koji su već implementirali GIS. Članak sadrži kratka objašnjenja mogućnosti GIS programa, opise alata te primjere izlaznih rezultata. Predstavljen je projekt Adria Holistic u sklopu kojeg Hrvatska vatrogasna zajednica izrađuje modul AdriaFireGPS. Kreirani su kartografski prikazi kako bi se pružila učinkovitija vizualizacija primjene GIS-a u optimizaciji vatrogasnog djelovanja.

Ključne riječi: GIS, vatrogasna služba, modeliranje rizika od požara, analiza vidljivosti, područje intervencije

Summary

An efficient firefighting organizational system, besides its inherent need for detailed knowledge of the geographic area, requires an ever increasing fund of experience and technical know-how on firefighting procedures and techniques. This article considers the possibilities of implementation of the Geographical Information System (GIS) into the existing professional firefighting procedures and practices. A detailed overview of possible implementation of GIS methods in regards to the optimization of preventative firefighting measures and operative procedures is provided. This work is based on the analyses and interpretation of a multitude international articles and firefighting systems which have already implemented GIS methods. The article contains a brief overview of the possibilities of the program, an explanation of the tools and extensions with the examples of output data. Project "Adria Holistic" is presented within which CFA

Vlatko Roland, Prehnit d.o.o., Zagreb, vlatko@prehnit.hr
Ivan Marić, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, imariczadar@net.hr
Rina Milošević, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, rina.milosevic91@gmail.com

produces module AdraFireGPS. In conclusion, cartographic representations have been created to effectuate the visualization of the GIS implementation.

Keywords: GIS, fire department, fire risk modeling, analysis visibility, service area

UVOD

Introduction

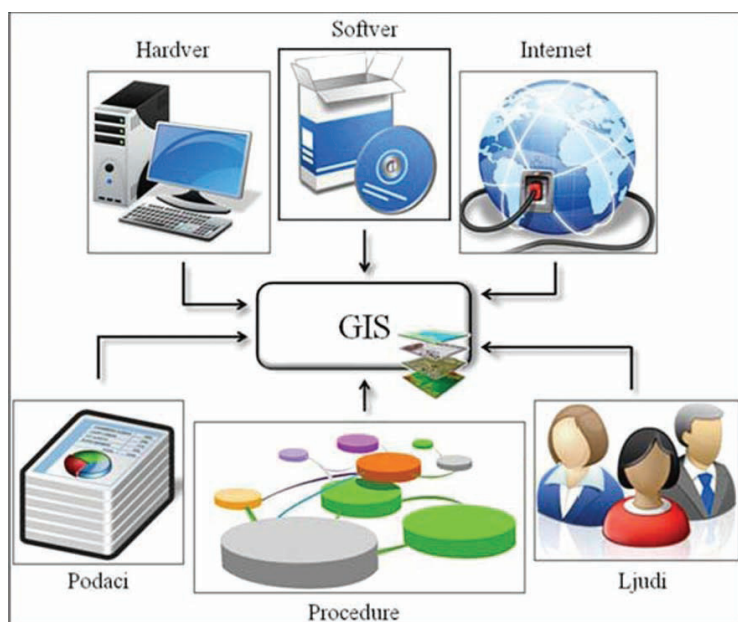
Zadatak vatrogasne djelatnosti je očuvanje života, imovine i okoliša od požara i drugih opasnosti. Suočena sa sve većim zahtjevima rada, vatrogasna struka je primorana implementirati najmodernije alate, tehnike i metode u svrhu učinkovitog odgovora na postavljene izazove i zadovoljenja očekivanja javnosti (Arianoutsou et al 2011.). Učinkovit vatrogasni sustav zahtjeva dobro isplaniranu intervenciju, primjeren sustav procjene i upravljanja rizikom, sveobuhvatnu obuku te inteligentnu implementaciju navedenih koraka kroz primjenu. Tehnologija s rastućom učestalosti primjene u optimiziranju tog sustava je geografski informacijski sustav (GIS) (Maloy i Dean 2001., Vasilakos et al 2007., Patah et al 2011.). GIS tehnologija je postala moćan i prepoznatljiv alat u poboljšanju svih aspekata procesa izvođenja vatrogasnih intervencija. Ovaj članak analizira mogućnosti primjene GIS tehnologije (metoda, tehnika i procedura) unutar vatrogasnog sustava. Također je predstavljen projekt Adria Holistic u sklopu kojeg HVZ izrađuje modul AdriaFireGPS.

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS) - *Geographic Information System (GIS)*

Razvoj GIS-a započeo je 1962. godine kada je Roger Tomlinson razvio kanadski geoinformacijski sustav (Canada Geographic Information System – CGIS). Njegov isključivo znanstveni razvoj tijekom 70-ih i 80-ih godina dobiva komercijalni aspekt (Coppock i Rhind 1991.). Kroz 1990-e naglo širenje i razvoj GIS tehnologije zahvatilo je širok spektar djelatnosti pružajući korisnicima snažno i prikladno virtualno okruženje koje pomaže u razumijevanju prostornih odnosa i pojava (Tompson i Kennedy 2013.). Njegove mogućnosti određene su kvalitetom (preciznošću i sadržajem) prikupljenih podataka te ugrađenim alatima i ekstenzijama. Definicije GIS-a su raznolike, a uglavnom ovise o korisniku koji ga upotrebljava za određenu svrhu. GIS nije samo programski alat za izradu karata, već or-

organizirani skup sastavnica: hardvera, softvera, podataka, procedura, interneta i ljudi (Slika 1). 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 (ESRI 2012.).

Ukoliko je GIS kao sustav podrške pri odlučivanju (decision support system) implementiran u određenu djelatnost, posjedovanje softvera, hardvera i sređene baze podataka nije dovoljno za učinkovito obavljanje željenih analiza. Većina znanstvenika kao ključnu sastavnicu GIS-a navodi posjedovanje kvalitetnog i stručnog osoblja, te postavljanje prioritarnih ciljeva unutar organizacije.



Slika 1. Sastavnice GIS-a

Figure 1. GIS components

MOGUĆNOSTI GIS-a - The possibility of a GIS

Vatrogasni djelatnici, zbog prirode svog posla, kontinuirano prikupljaju podatke iz različitih izvora. Ti podaci često nisu primjereno organizirani, nalaze se u nesređenim bazama podataka, različitih formata, što onemogućuje nji-

hovo učinkovito ažuriranje te primjenu (Chuvieco i Salas 1996.). Aplikacije unutar komercijalnih i besplatnih (open source) GIS softvera pružaju višestruke mogućnosti izrade, organiziranja i upravljanja bazom podataka s brzim pristupom (Steiniger i Bocher 2009., ESRI 2012.).

Inače, skupovi podataka u GIS okruženju spremljeni su u obliku vektorskih i rasterskih slojeva, što omogućuje preklapanje i identificiranje različitih pojava, trendova, zona interesa te ugroženih područja. GIS ima mogućnost upravljanja podacima (permanentno pohranjivanje, slobodno modeliranje, generiranje novih informacija) koji su georeferencirani (ESRI 2012.). Dakle, sposobnost kombiniranja prostornih podataka s vezanim atributima osigurava mu mogućnost primjene u velikom broju djelatnosti (Tompson i Kennedy 2013.). Najčešći podatkovni slojevi koje vatrogasne službe primarno koriste su ulice, parcele, hidranti, komunalna mreža, rijeke i jezera, poslovne zgrade, policijske i vatrogasne postaje, škole i bolnice, satelitske snimke, lokacije prethodnih požara (Chuvieco i Salas 1996., Vasilakos et al 2007.). Tako se uz sloj lokacije prethodnih požara mogu vezati dodatni atributi koji detaljnije opisuju navedeni podatak: tip nesreće, uzrok, datum, jedinica koja je odgovorila na incident i vrijeme odgovora (ESRI 2006.). Ono što GIS čini idealnim za optimiziranje vatrogasne struke je njegova sposobnost analize, usporedbe i interpretacije prostornih podataka budući da su požari uvijek vezani za određenu lokaciju.

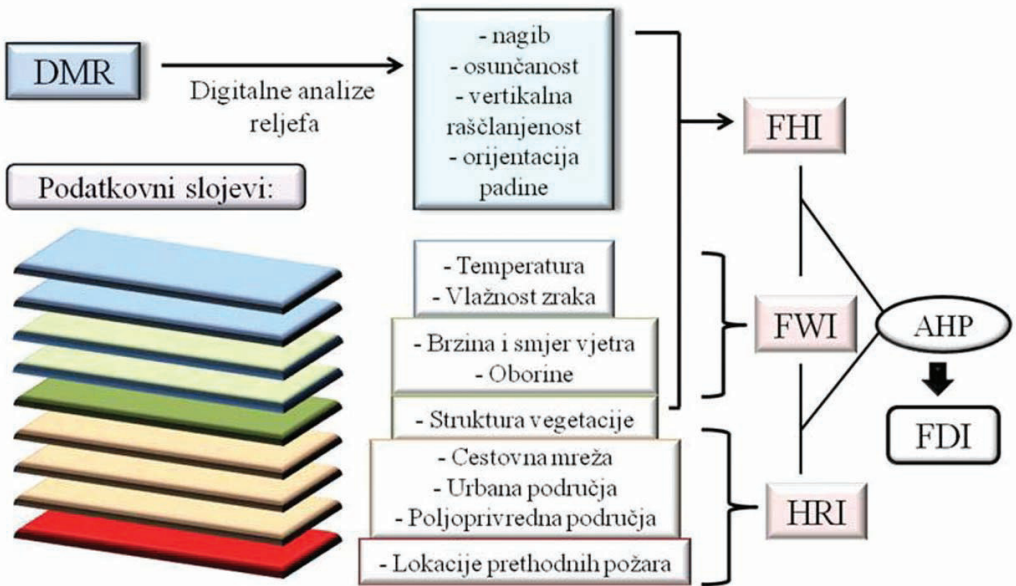
PRIMJENA GIS-a U MODELIRANJU OPASNOSTI OD POŽARA – *Application of GIS in modeling risk of fire*

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 et al 2011., Sivrikaja et al 2014.), a služe za prevenciju i suzbijanje nesreća. Prilikom generiranja navedenih modela potrebno je koristiti širi raspon čimbenika koji utječu na nastanak požara (Slika 2), 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

1 FDI - Fire Danger Index

2 FRI - Fire Risk Index

Salas 1996., Patah et al 2011., Sivrikaja et al 2014.). Metoda kreiranja modela koja uključuje korištenje više čimbenika utjecaja naziva se metoda multi-kriterijske analize (Vasilakos et al 2007.). Svaki od navedenih modela uglavnom nastaje kombiniranjem više pod-indeksa korištenih varijabli (WDI3, TDI4), (Patah et al 2011.), (PI5, FHC6, HRI7), (Chuvieco i Salas 1996.). Procjena težinskih koeficijenata pod-indeksa, nakon usporedbe njihove relativne važnosti u procesu istraživane pojave, može se odrediti pomoću analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP8), (Vasilakos et al 2007.).



Slika 2. Primjer konceptualnog modela za određivanje indeksa opasnosti od požara

Figure 2. Example of conceptual model for the determination of the index risk of fire

Naime, svakoj varijabli, ovisno o vrsti indeksa, odnosno modela kojeg se generira, dodjeljuju se odgovarajući težinski koeficijenti koji ukazuju na njezin značaj u po-

- 3 WDI - Weather Danger Index
- 4 TDI - Topographic danger index
- 5 PI - Probability of ignition
- 6 FHC - Fuel hazard Component
- 7 HRI - Human risk index
- 8 AHP - Analytic hierarchy process

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

Table 1. Example of determining the weight factor, classes and the risk of fire for a particular variable

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

tencijalom nastanku požara. Najveći težinski koeficijenti uglavnom se dodjeljuju gorivnom materijalu, topografskim i klimatskim varijablama (Kean et al 2001., Patah et al 2011., Sivrikaja et al 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).

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 izmjenjenih vrijednosti s poznatim koordinatama, a sve u svrhu dobivanja kontinuirane površine s nizom vrijednosti (Childs 2004.).

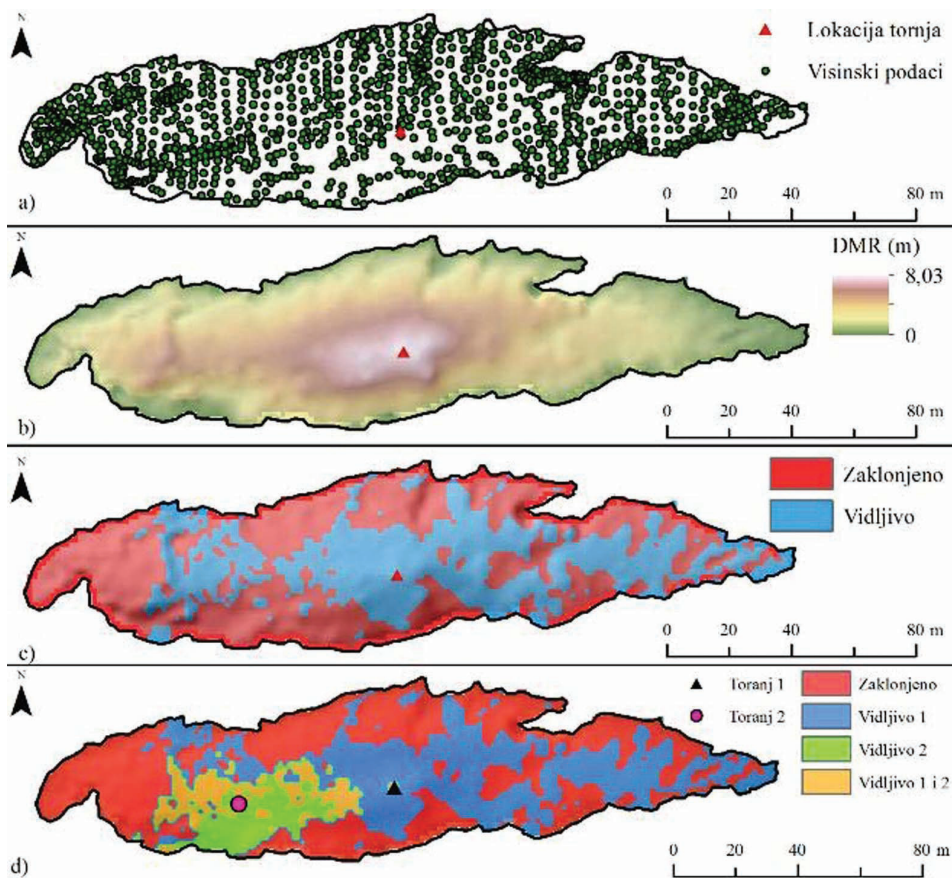
Nadalje, GIS je prepoznat u drugim aspektima upravljanja i prevencije požara, a to su: analiza vidljivosti (viewshed analysis), odnosno odabir odgovarajuće lokacije za smještaj tornja za nadzor požara (Maloy i Dean 2001., Pompa-Garcia et al 2010., Singh et al 2014., Sivrikaja et al 2014.), indeksa gubljenja otpornosti na požare (LRR9), (Arianoutsou et al 2011.), simulacija širenja vatre (De Vasconcelos et al 1995., Dumond 2008.), odabir nove

lokacije vatrogasne postaje (Algharib 2011., Držaić et al 2015.), određivanje zone utjecaja vatrogasne intervencije (Yagoub i Jalil 2014., Držaić et al 2015.), optimizaciju kretanja vatrogasnih vozila ili lokacija vatrogasnih postaja u urbanim područjima (Yan et al 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.

PRIMJENA GIS – a U ODABIRU NOVE LOKACIJE TORNJEVA – ANALIZA VIDLJIVOSTI - *Application of GIS in choosing new locations towers - visibility analysis*

Analiza vidljivosti izvodi se u svrhu utvrđivanja površine vidljivog područja s određene lokacije. Primjenjuje se u vojnim analizama, arheologiji, modeliranju promjena u okolišu, te prevenciji, planiranju i upravljanju požarima (Maloy i Dean 2001., Pompa-Garcia et al 2010.). U GIS okruženju analize vidljivosti izvode se integriranjem digitalnog modela reljefa (DMR), vegetacijskog pokrova te nove potencijalne lokacije nadzornog tornja, odnosno promatračke točke (observed point) (Maloy i Dean 2001., Pompa-Garcia et al 2010.). Ostali faktori koji utječu na vidljivost mogu biti: klimatski uvjeti, visina i gustoća vegetacije te doba dana (Oguz et al 2013.). Minimalni podatci potrebni za izvođenje analiza vidljivosti unutar GIS-a su DMR i potencijalna lokacija promatračkog tornja (ESRI 2012.).

Cilj takvih analiza je utvrđivanje trenutnog i potencijalnog područja vidljivosti sa specifične lokacije (tornja), te predlaganje alternativne prostorne distribucije nadzornih tornjeva u svrhu povećanja učinkovitosti, odnosno postizanja maksimalno vidljive površine sa što manjeg broja lokacija. Rezultati se ovisno o svrsi istraživanja izražavaju u postotcima trenutne i potencijalne površine vidljivosti (Pompa-Garcia et al 2010.). Ukoliko postoji nekoliko promatračkih točaka (tornjeva) moguće je odrediti koliko je njih vidljivo sa specifične promatračke točke (ArcGIS Desktop 10.1 Help). Također, analize vidljivosti su bitan čimbenik u procesu modeliranja indeksa rizika od požara. Naime, ukoliko se požar nalazi u zaklonjenom području, kasnije se zamjećuje, te ga je puno teže staviti pod kontrolu. Stoga ona područja koja nisu vidljiva sa specifične lokacije imaju veći rizik od nastanka požara i obrnuto (Yakubu et al 2013.).



Slika 3. Primjer izvođenja analiza vidljivosti za potencijalnu lokaciju nadzornog tornja (otok Galicija): a – prikupljanje visinskih podataka, b – izrada DMR metodom interpolacije (ANUDEM), c – analiza vidljivosti, d – promatrane točke

Figure 3. Example of an visibility analysis for the potential location of the watchtower (island of Galicia): a - collecting elevation data, b - generating DEM (Digital Elevation Model) with interpolation method (ANUDEM), c - viewshed, d - observation point

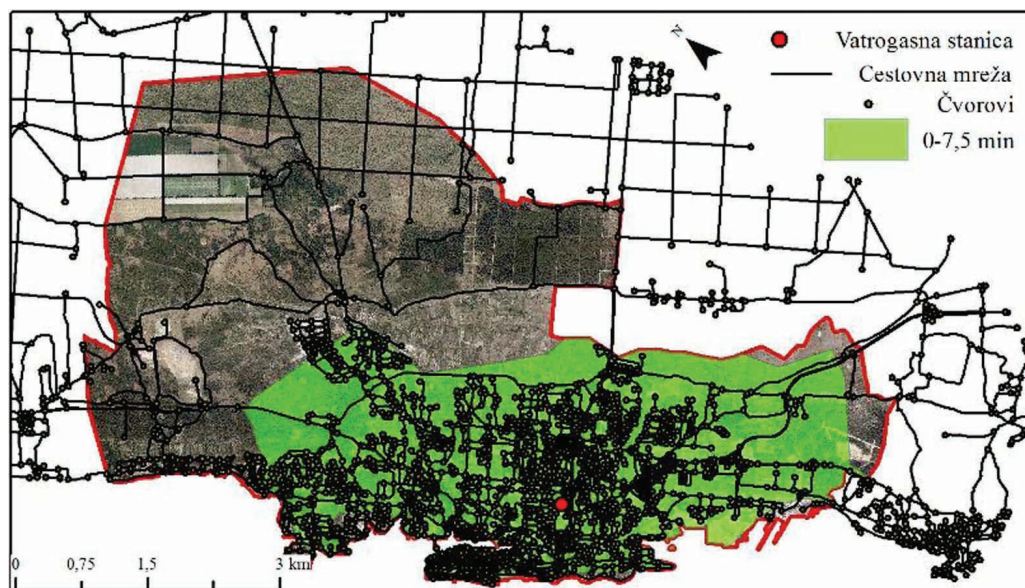
Analize vidljivosti mogu se izvesti unutar ArcGIS aplikacije ArcToolbox, točnije skupa alata naziva Spatial Analyst – Surface, odnosno 3D Analysta - Visibility. Navedeni skupovi podataka uz korištenje različitih algoritama omogućuju obavljanje sveobuhvatnih raster-temeljnih prostornih analiza (ArcGIS Desktop 10.1 Help). Dva najčešća korištena alata unutar ArcGIS-a su Viewshed i Observer points. Oba alata generiraju izlazni rezultat koji se odnosi na vidljivu površinu u obliku rastera (Slika 3). Izlazni rezultat drugog alata ima mogućnost dodatnog identificiranja one površine DMR-a s koje se vidi nekoliko (najviše 16) promatračkih točaka (ArcGIS Desktop 10.1 Help).

PRIMJENA GIS-a U ODABIRU NOVIH LOKACIJA VATROGASNIH POSTAJA - *Application of GIS in selecting new locations of fire stations*

U svrhu što učinkovitije pokrivenosti vatrogasnim postajama GIS omogućuje određivanje najbolje lokacije, broja i distribucije potrebnih vatrogasnih postaja unutar određenog prostora. Takve analize mogu se provesti unutar Network Analysta. Network Analyst je moćna ekstenzija ArcGIS-a koja omogućuje analize temeljene na topološki točnim podacima prometne mreže. Korisna je u vatrogastvu jer omogućuje: definiranje najbliže vatrogasne postrojbe do opožarenog područja, pronalazi najbrže rute, procjenjuje vrijeme putovanja, odabire nove potencijalne lokacije vatrogasne stanice ili definira optimalnu dislokaciju postojećih vatrogasnih postrojbi (Algharib 2011., Držaić et al 2015.). Primjerice, alat location-allocation služi za određivanje optimalne lokacije iz zadanog skupa potencijalnih mjesta. Pri odabiru vatrogasnih postrojbi uključuju se tri komponente: lokacije požara (demand points), potencijalne lokacije vatrogasnih postrojbi (facilities) te udaljenost od potencijalnih mjesta do lokacija požara (lines) (Algharib 2011.). Najčešći kriteriji odabira su: vrijeme potrebno za intervenciju i veličina područja kojeg potencijalna lokacija pokriva s obzirom na distribuciju požara. Cilj analize je prepoznavanje one lokacije koja pokriva što veće područje, a da se od nje do mjesta požara može doći unutar standardnog vremena potrebnog za intervenciju (Algharib 2011., Držaić et al 2015.). Inače, većina mrežnih analiza unutar Network Analysta se temelji na Dijkstra algoritmu ili algoritmu najkraćeg puta (shortest path algorithm). Algoritam razbija mrežu na čvorove, a rute koje ih povezuju se vizualizirane vektorskim linijskim oblikom podataka. Uz to, svaka linija između dva čvora ima povezanu vrijednost (trošak ili udaljenost) koju je potrebno savladati da bi se došlo do određivanja čvora ili točke (Karadimas et al 2007.).

DEFINIRANJE OPTIMALNIH RUTA KRETANJA I PODRUČJA DJELOVANJA VATROGASNIH VOZILA - *Defining the optimal routes and areas of fire-fighting vehicles*

Imperativ svih vatrogasnih intervencija su brzina i točnost reakcije. U tom kontekstu, korištenje GIS-a omogućuje, zahvaljujući implementiranim algoritmima, elimi-



Slika 4. Primjer podatkovnog skupa prometne mreže te zone utjecaja vatrogasne stanice (grad Zadar)

Figure 4. Example of data set transport network and the zone of influence of the fire station (city Zadar)

niranje eventualnih ljudskih pogreški prilikom odabira puta, te značajno skraćivanje vremena intervencije (Sari i Erdi 2012.). U razvijenijim zemljama neizostavan je trend ugradnje GPS uređaja u flotu vatrogasnih vozila, pomoću kojih se u svakom trenutku može odrediti njihova točna lokacija, navodeći ih u skladu s aktualnom situacijom na terenu.

Važno je naglasiti da najkraći put ne mora nužno biti i najbrži, te da su uvjeti na prometnoj mreži važan čimbenik odabira najbrže rute. Prema tome kod izračuna optimalne rute intervencije unutar GIS okruženja, točnije ekstenzije Network Analyst, kao primjereni metriki koriste se: udaljenost, ograničenje brzine, broj prometnih znakova, skretanja i križanja, nagib ulica, količina prometa i parkirna mjesta. (Sari i Erdi 2012., Forkuo i Quaye – Ballard 2013.). Definiranje područja djelovanja vatrogasne postaje podrazumijeva prikaz standardnog vremena za intervenciju vatrogasnih postrojbi. Može se izvesti pomoću alata New Service Area koji je integriran unutar ArcGIS-a. Izlazni poligon može prikazivati područje vatrogasne intervencije određene postaje kroz vremenski aspekt (npr. 5-10-15 min) i udaljenost. Cilj analize je utvrđivanje koliko se stanovnika, objekata ili drugih kvantitativnih podataka nalazi unutar svake pojedinačne zone. Izvođenje analize

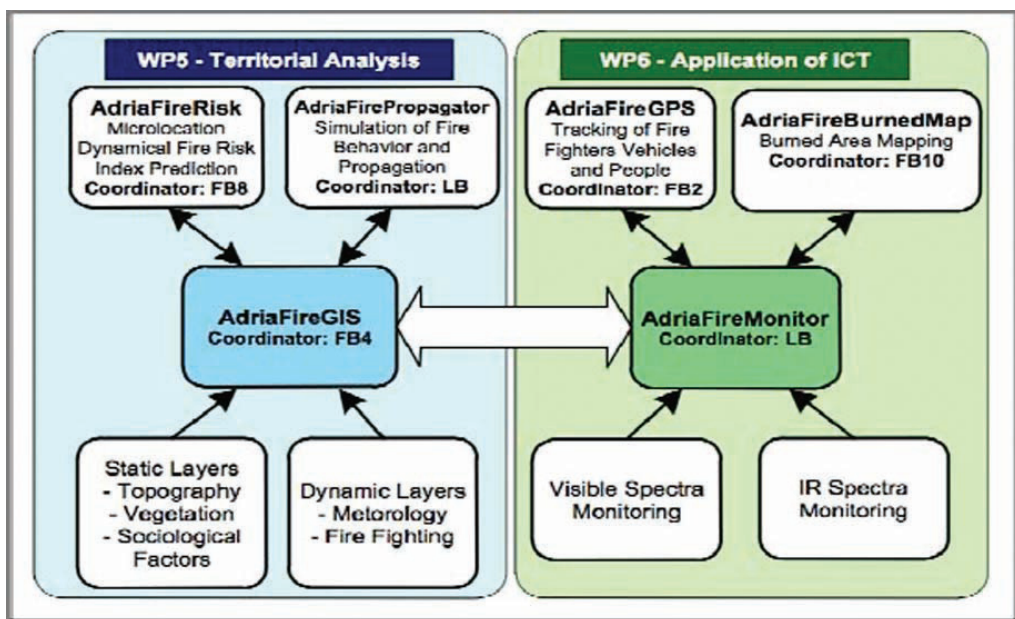
uključuje prikupljanje topološki točnih podataka o cestovnoj mreži istraživanog područja. Potom se unutar ArcCataloga kreira podatkovni skup prometne mreže (network dataset), koji se sastoji od ruta (linija) i čvorova (točke), (Slika 4). Unutar atributne tablice za svaki segment cestovne mreže izračunava njegova dužina (shape length) te se na temelju tipa prometnice određuje maksimalna brzina koju vozilo može dostići. Na slici 4. dan je primjer određivanja površine koja spada unutar zadanog vremena od 7,5 min vatrogasne intervencije. Vrijednost brzine vatrogasnog vozila postavljena je na 65 km/h.

ADRIA HOLISTIC PROJEKT - *Adria Holistic project*

Hrvatska vatrogasna zajednica, zajedno s partnerima iz 8 zemalja, prijavila je i dobila projekt „Adria Holistic Forest Fire Protection – HOLISTIC“, iz programa Adriatic IPA Cross Border Cooperation 2007. – 2013., čiji cilj je prevencija i smanjenje posljedica prirodnih rizika i katastrofa, s posebnim naglaskom na smanjenje rizika od šumskih požara i potresa. Očekivani rezultati projekta HOLISTIC jest kroz interdisciplinarni (holistički) pristup analizirati stanje zaštite od požara u RH i u jadranskom okruženju, razviti geo-hidrološke informacijske podloge, te prilagoditi i implementirati suvremene metode i softverska rješenja koja imaju za cilj unapređenje prevencije, suzbijanja i sanacije posljedica požara raslinja, kao i razvoj suvremenih (softverskih) alata za edukaciju i rukovođenje na vatrogasnim intervencijama kod požara raslinja. Hrvatska vatrogasna zajednica se u projektu usredotočila na razvoj jedinstvenoga vatrogasnog informacijskog modula AdriaFireGPS zasnovanog na GPS i GIS tehnologiji, operativnog alata za prevenciju požara, predviđanje širenja (ekspanzije) požara i šumskih požara te požara na otvorenome. Objedinit će politike zajedničkog upravljanja i postupke za prevenciju požara, širenja požara, supresije vatre i oporavka. Ovaj će modul biti integriran u već postojeći informacijski sustav HVZ-ove aplikacije „Vatrogasna mreža“.

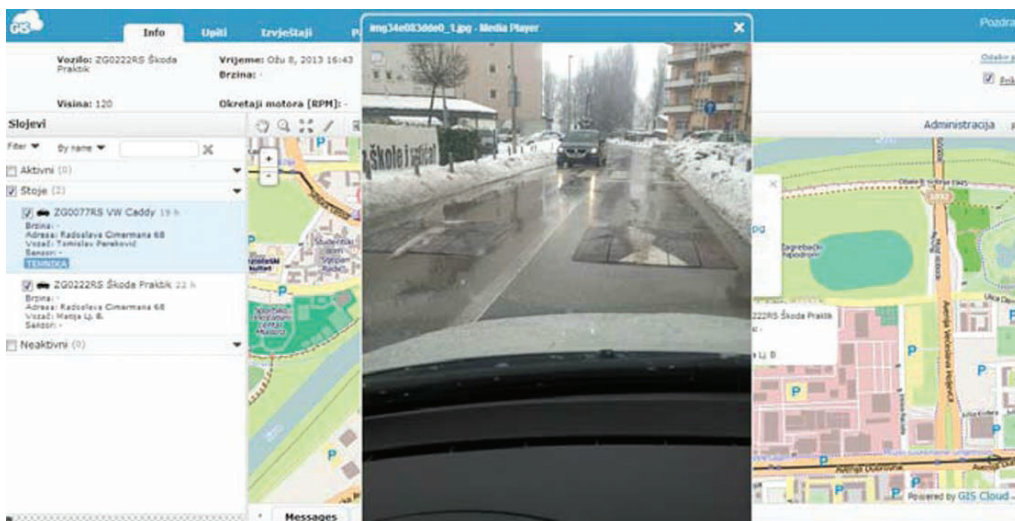
AdriaFireGPS - *AdriaFireGPS*

Kroz Holistic projekt izrađuje se modul AdriaFireGPS, koji je nadogradnja postojećeg sustava upravljanja i praćenja vozila unutar HVZ-a. Svrha modula je uspostaviti sustav praćenja vozila kao integralni dio sustava za podršku



Slika 5. Shema integracije AdriaFireGPS modula u projektu Holistic

Figure 5. Integration scheme of AdriaFireGPS in Holistic project



Slika 6. Primjer korisničkog sučelja GIS aplikacije

Figure 6. Example of GIS application user interface

odlučivanju zasnovanog na GIS tehnologiji. Sustav omogućava vizualizaciju prostornih podataka (prikaz lokacije i ostalih podataka s GPS uređaja, prikaz kartografskih podloga) te jednostavne prostorne analize.

ZAKLJUČAK

Conclusion

Glavno obilježje GIS-a je integriranje disciplina i znanja iz različitih znanstvenih područja što ga čini idealnim za korištenjem u svim fazama upravljanja požarima od planiranja protupožarne zaštite do strategijskog upravljanja vatrogasnim intervencijama. Ovaj članak je kroz nekoliko primjera ukazao na širok raspon primjene GIS-a u optimizaciji vatrogasne službe, od kompleksnog modeliranja raznih indeksa opasnosti, rizika, zapaljenja, podložnosti od požara, topografije i vremena, do jednostavnijih analiza vidljivost, odabira optimalne lokacije nadzornog tornja i vatrogasne stanice, određivanje područja intervencije itd. Usprkos navedenim prednostima GIS tehnologije, njegova implementacija otežana je zbog niza čimbenika od kojih su najistaknutiji: nedostatak financijskih sredstava za nabavu primjerene opreme (hardvera i softvera) te manjak osoblja upoznatog s mogućnostima GIS tehnologije. Međutim, kroz različite razvojne projekte, GIS tehnologija nalazi svoju primjenu u vatrogastvu i time se otvaraju nove napredne mogućnosti rada unutar vatrogasne službe.

LITERATURA

References

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. Coppock, J. T., Rhind, D. W. (1991): *The history of GIS, Geographical information systems: Principles and applications*, 1(1), 21-43.
4. Childs, C. (2004): *Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst*, *ArcUser*, July-September, 32-35.
5. 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.
6. 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.
7. 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).
 8. Dumond, Y. (2008): *Forest fire growth modelling with geographical information fusion*, In *Information Fusion, 2008 11th International Conference*, 1-6
 9. Elis, H., Tabnsel, B., Oguz, O. (2013): *The viewshed problem: a theoretical analysis and a new algorithm for finding the viewshed of a given point on a triangulated terrain*.
 10. ESRI, (2012): *GIS for fire services*, Redlands, California.
 11. Forkuo, K. E., Quaye-Ballard, J.A. (2013): *GIS based fire emergency response system*, Department of Geomatic Engineering, Kumasi
 12. Kainz, W. (2004): *Geographic Information Science (GIS), Lecture Notes*, Division of Cartography and Geoinformation, University of Vienna, Austria.
 13. Karadimas, N. V., Kolokathi, M., Defteraiou, G., Loumos, V. (2007): *Ant colony system vs ArcGIS network analyst: The case of municipal solid waste collection*, In *5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development*, Tenerife, Spain.
 14. Keane, R. E., Burgan, R., van Wagtenonk, 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 viewshed delineation techniques*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(11), 1293-1298.
 16. 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).
 17. 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.
 18. 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.*
19. 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.*
 20. Steiniger, S., Bocher, E. (2009): *An overview on current free and open source desktop GIS developments, International Journal of Geographical Information Science, 23(10), 1345-1370.*
 21. 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).*
 22. 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.*
 23. Yagoub, M. M., Jalil, A. M. (2014): *Urban Fire Risk Assessment Using GIS: Case Study on Sharjah, UAE.*
 24. 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.*