

PROSTORNA ANALIZA OPSLUŽENOSTI SLUŽBAMA ZA VANREDNE SITUACIJE: STUDIJA SLUČAJA PUTNE MREŽE BAČKOG OKRUGA

Boris Antić¹, Sreten Jevremović², Milica Šelmić³, Filip Arnaut⁴

¹ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, email: b.antic@sf.bg.ac.rs

² Institut za fiziku u Beogradu, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, sjevremovic@ipb.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, email: m.selmic@sf.bg.ac.rs

⁴ Institut za fiziku u Beogradu, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, email: arnaut@ipb.ac.rs

Rezime: Efikasnost reagovanja službi za vanredne situacije direktno zavisi od prostorne organizacije i funkcionalnosti putne mreže, budući da vreme dolaska na mesto intervencije predstavlja ključni faktor smanjenja posledica požara, saobraćajnih nezgoda i drugih incidentnih događaja. U radu je izvršena analiza prostorne pristupačnosti puteva vatrogasno-spasilačkim jedinicama Sektora za vanredne situacije na teritoriji Bačkog okruga (dostupnih sa sajta Ministarstva unutrašnjih poslova Republike Srbije – Sektor za vanredne situacije), sa posebnim osvrtom na uticaj strukture i povezanosti putne mreže na pokrivenost stanovništva. Korišćenjem QGIS alata sprovedena je analiza kretanja vozila intervencije duž postojeće putne mreže za vremenske pragove od 5, 10, 15 i 20 minuta, pri čemu je procenjen udeo stanovništva koje može biti opsluženo u zadatom vremenu odziva. Ovim istraživanjem pokazano je da je u prvih 5 minuta pokriveno oko 37% populacije, zatim 61%, 77%, i 89% stanovništva za 20 minuta. Rezultati ukazuju na značaj prostorne raspodele jedinica u odnosu na hijerarhiju i propusnu moć puteva, kao i na potrebu unapređenja saobraćajne infrastrukture i optimizacije lokacija baza radi skraćanja vremena odziva. Istraživanje pruža osnovu za integraciju saobraćajnog planiranja i sistema upravljanja rizicima, sa ciljem povećanja bezbednosti saobraćaja i efikasnosti intervencija na putnoj mreži.

Ključne reči: pristupačnost, putna mreža, vreme odziva, QGIS, prostorna analiza, bezbednost saobraćaja, upravljanje rizikom

SPATIAL COVERAGE ANALYSIS BY EMERGENCY SERVICES: A CASE STUDY OF THE ROAD NETWORK IN THE BAČKA DISTRICT

Boris Antić¹, Sreten Jevremović², Milica Šelmić³, Filip Arnaut⁴

¹ University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, email: b.antic@sf.bg.ac.rs

² Institute of Physics Belgrade, National Institute of the Republic of Serbia, email: sjevremovic@ipb.ac.rs

³ University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, email: m.selmic@sf.bg.ac.rs

⁴ Institute of Physics Belgrade, National Institute of the Republic of Serbia, email: arnaut@ipb.ac.rs

Abstract: The efficiency of emergency service response directly depends on the spatial organization and functionality of the road network, as the time required to reach the incident location represents a key factor in reducing the consequences of fires, traffic accidents, and other emergency occurrences. This paper analyzes the spatial accessibility of roads to fire and rescue units of the Emergency management sector within the Bačka District (data obtained from the official website of the Ministry of the Interior of the Republic of Serbia – Emergency management sector), with particular emphasis on the influence of the road network structure and connectivity on population coverage. Using QGIS, a network-based analysis of emergency vehicle movement along the existing road network was conducted for time thresholds of 5, 10, 15, and 20 minutes. The share of the population that can be served within each defined response time was estimated. The results show that approximately 37% of the population is covered within the first 5 minutes, increasing to 61%, 77%, and 89% within 20 minutes. The findings highlight the importance of the spatial distribution of units in relation to the hierarchy and capacity of roads, as well as the need to improve transport infrastructure and optimize base locations in order to reduce response times. The study provides a foundation for integrating transport planning with risk management systems, aiming to enhance traffic safety and improve the efficiency of emergency interventions on the road network.

Keywords: accessibility, road network, response time, QGIS, spatial analysis, traffic safety, risk management

¹ Sreten Jevremović, email: sjevremovic@ipb.ac.rs

1. UVOD

Efikasnost sistema za vanredne situacije predstavlja jedan od ključnih elemenata bezbednosti ne samo saobraćajnog, već celokupnog državnog sistema, naročito u uslovima sve češćih incidentnih događaja poput: saobraćajnih nezgoda, požara i sl. U takvim okolnostima, vreme odziva interventnih službi postaje presudan faktor za smanjenje negativnih posledica ovakvih događaja. Prostorna organizacija baza, hijerarhija i propusna moć putne mreže, kao i njena povezanost i gustina, direktno utiču na dostupnost i brzinu dolaska službi na mesto intervencije [1], [2]. Zbog toga se analiza pristupačnosti ne može posmatrati isključivo kao tehničko pitanje saobraćajne infrastrukture, već kao važna komponenta integrisanog upravljanja rizicima.

Poseban izazov u planiranju sistema reagovanja predstavlja neravnomerna prostorna raspodela stanovništva i aktivnosti, kao i razlike u kvalitetu i kapacitetu saobraćajne infrastrukture između urbanih i ruralnih područja [3]. Dok su u gušće naseljenim zonama baze često bliže korisnicima usluga, u perifernim i slabije razvijenim delovima vreme dolaska može značajno varirati. Upravo zbog toga je neophodno sagledati pristupačnost kroz realne uslove kretanja duž postojeće putne mreže, a ne isključivo na osnovu elementarnih udaljenosti ili administrativnih granica.

Savremeni GIS alati omogućavaju precizno modelovanje kretanja vozila duž putne mreže, uz uvažavanje prostornih i funkcionalnih karakteristika saobraćajnog sistema. Na taj način moguće je kvantifikovati obuhvat stanovništva u okviru definisanih vremenskih okvira i identifikovati zone sa smanjenom dostupnošću, koje zahtevaju dodatne planske i organizacione intervencije [4]. Ovakav pristup doprinosi objektivnijem sagledavanju prostorne ravnoteže između lokacija interventnih jedinica i raspodele stanovništva, kao i proceni efikasnosti postojećeg sistema.

Pored toga, ovakva analiza omogućava identifikaciju kritičnih tačaka na mreži, deonice sa ograničenom propusnom moći, nedovoljnom povezanošću ili nepovoljnom lokacijom u odnosu na baze. Ove informacije mogu biti od značaja ne samo za unapređenje rada službi za vanredne situacije, već i za strateško planiranje razvoja saobraćajne infrastrukture i optimizaciju budućih rešenja.

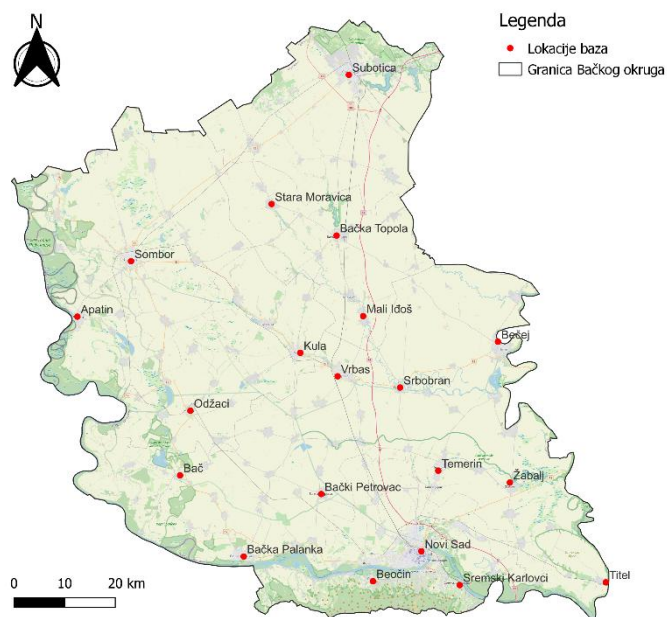
Cilj ovog rada jeste analiza prostorne pristupačnosti putne mreže organizacionim jedinicama službi za vanredne situacije na području Bačkog okruga, sa posebnim osvrtom na uticaj strukture i povezanosti saobraćajne mreže na pokrivenost stanovništva za različite vremenske parametre. Istraživanje teži da utvrdi u kojoj meri postojeća prostorna raspodela baza i karakteristike putne infrastrukture omogućavaju efikasno reagovanje, kao i da identifikuje potencijalne pravce unapređenja kroz razvoj saobraćajne mreže. Shodno navedenom, ovo istraživanje može doprineti povezivanju prostornog planiranja i upravljanja rizicima, sa ciljem povećanja ukupne bezbednosti i otpornosti saobraćajnog sistema.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno na području Bačkog okruga, koji prema dostupnim demografskim podacima ima nešto više od 1.042.000 stanovnika [5]. Analiza je obuhvatila procenu prostorne pristupačnosti i stepena opsluženosti stanovništva bazama vatrogasno-spasilačkih jedinica na posmatranoj teritoriji.

Podaci o lokacijama baza prikupljeni su sa zvaničnog sajta Ministarstva unutrašnjih poslova Republike Srbije – Sektora za vanredne situacije [6]. Na analiziranom području identifikovano je ukupno 20 baza koje deluju u okviru državnog sistema. U analizi nisu uključena dobrovoljna vatrogasna društva, s obzirom na to da njihov teritorijalni obuhvat, operativna spremnost i raspoloživost resursa mogu značajno varirati, što otežava standardizovanu procenu vremena odziva. Sa fokusom na baze u okviru državnog sistema obezbeđena je uporedivost rezultata, jer su ove jedinice deo formalno organizovanog i institucionalno regulisanog sistema.

Prostorna raspodela baza na teritoriji Bačkog okruga prikazana je na Slici 1. Lokacije su geokodirane i integrisane u GIS okruženje radi analize pristupačnosti.



Slika 1. Analizirano područje – Bački okrug

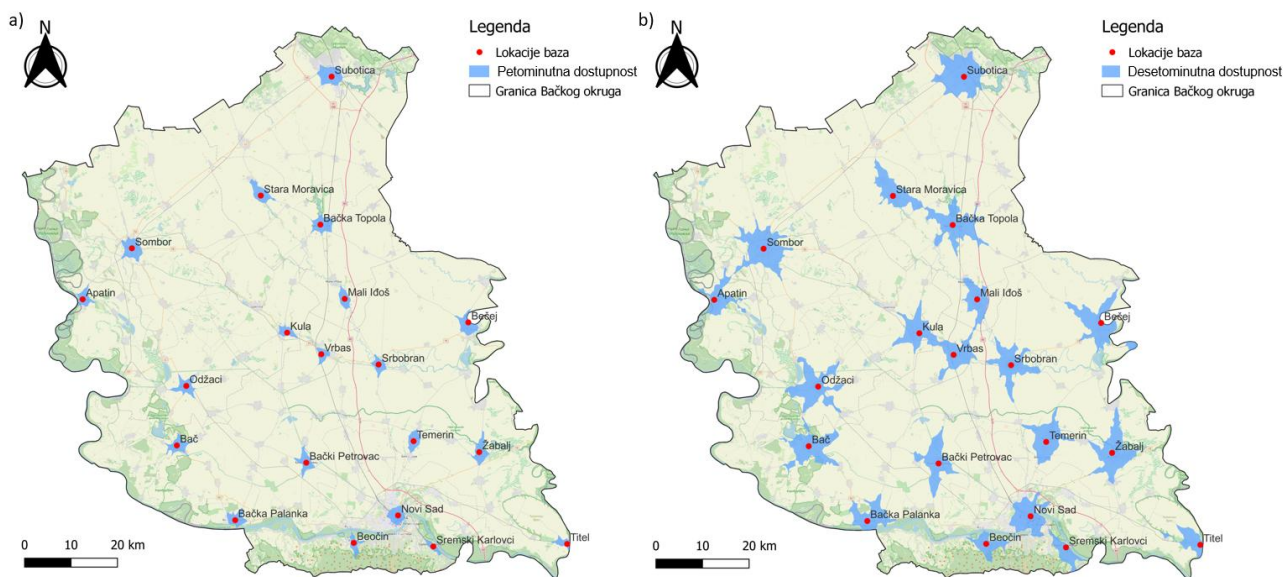
Analiza pristupačnosti sprovedena je korišćenjem QGIS softvera, primenom alata za analizu mreže zasnovanu na realnoj OSM (OpenStreetMap) putnoj mreži. Modelovano je kretanje interventnih vozila duž postojeće saobraćajne infrastrukture, pri čemu su definisani vremenski pragovi od 5, 10, 15 i 20 minuta. Za svaki od navedenih intervala generisane su zone dostupnosti (isohrone), koje predstavljaju teritoriju do koje je moguće stići iz određene baze u okviru zadatog vremena.

Pored prostorne analize, izvršena je i procena broja stanovnika koji se nalaze unutar definisanih vremenskih zona. U tu svrhu korišćena je Global Human Settlement Layer (GHSL) baza podataka [7], koja omogućava prostornu distribuciju stanovništva u raster formatu visoke rezolucije. Preklapanjem ovih zona sa slojem raspodele stanovništva izračunat je udeo populacije koji može biti opslužen u okviru 5, 10, 15 i 20 minuta. Na taj način kvantifikovana je ne samo teritorijalna, već i demografska pristupačnost sistema.

Prikazani metodološki pristup zasnovan je na kombinaciji mrežne analize i prostorne demografske procene, čime je omogućeno sveobuhvatno sagledavanje efikasnosti postojećeg rasporeda baza u odnosu na strukturu putne mreže i raspodelu stanovništva. Rezultati dobijeni ovom metodom pružaju osnovu za dalje analize, optimizaciju lokacija, unapređenja saobraćajne infrastrukture i strateško planiranje sistema upravljanja rizicima.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

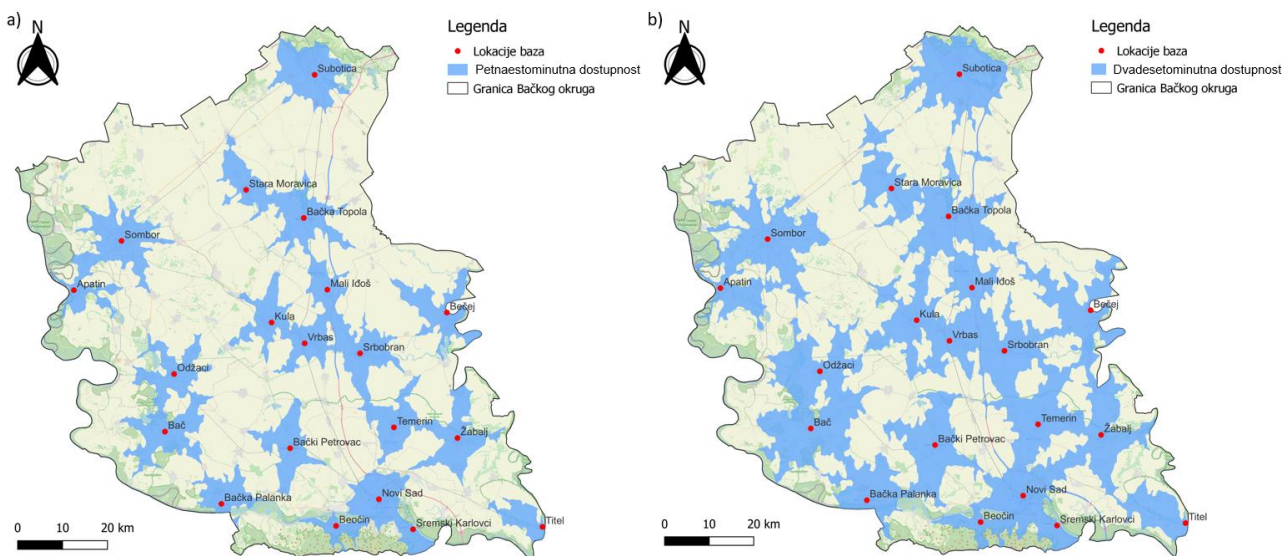
Rezultati sprovedene prostorne i mrežne analize pružaju uvid u stepen teritorijalne i demografske pokrivenosti posmatranog područja u okviru definisanih vremenskih pokazatelja. Na Slici 2 su prikazane a) petominutna i b) desetominutna prostorna dostupnost vozilima vatrogasnih službi na području Bačkog okruga.



Slika 2. Petominutna a) i desetominutna b) dostupnost vozilima vatrogasnih službi

Sa Slike 2a može se uočiti veoma mala pokrivenost područja. Zapravo u okviru petominutne dostupnosti vozilima vatrogasnih službi opslužena su samo gradska ili uža centralna područja ukoliko su u pitanju veći gradovi poput Novog Sada i Subotice. Sa Slike 2b područja opsluge se značajno povećavaju, čime su u potpunosti obuhvaćeni svi gradovi i područja u kojima se nalaze baze vatrogasnih službi.

Na Slici 3 su prikazani rezultati a) petnaestominutne i b) dvadesetominutne prostorne pristupačnosti vozilima vatrogasnih službi.



Slika 3. Petnaestominutna a) i dvadesetominutna b) dostupnost vozilima vatrogasnih službi

U odnosu na Sliku 2, Slika 3 prikazuje značajno veća područja opsluge, posebno u slučaju dvadesetominutne dostupnosti. Sa Slike 3b se može videti da su obuhvaćena i manja satelitska naselja koja se nalaze u blizini gradova gde su locirane baze. Na ovom mestu je važno istaći značaj razvijenosti saobraćajne mreže i to prevashodno autoputeva, kao brzih saobraćajnica, na područje opsluge i pristupačnost vozilima vatrogasnih službi.

U Tabeli 1 su prikazani rezultati prostorne pristupačnosti vozilima vatrogasnih službi i populacije koja je opslužena u okviru svakog vremenskog intervala.

Tabela 1. *Opisluženost populacije vozilima vatrogasnih službi u okviru zadatih vremenskih intervala*

Izohrone [min]	Ukupna populacija	Opislužena populacija	Neopislužena populacija	Procenat opislužene populacije [%]
5	1.000.021	372.677	627.344	37,27
10	1.000.021	611.984	388.038	61,20
15	1.000.021	769.800	230.221	76,98
20	1.000.021	892.417	107.604	89,24

Iz Tabele 1 se veoma jasno može videti da procenat opisluženosti populacije očekivano raste kako se povećava i vremenski interval, sve do maksimalne opisluženosti od 89,24%, koliko je postignuto sa postojećom infrastrukturu i prostornom raspodelom baza. Ono što je važno napomenuti jeste činjenica da, uprkos značajnom procentu opisluženosti stanovništva, i dalje postoje određena manja i veća naselja koja nisu opislužena, poput: Kovilja, Budisava i većeg broja manjih naselja u okolini Sombora: Bački Breg, Bezdan, Bački Monoštor, Stanišić, Riđica, Sivic itd.

4. DISKUSIJA REZULTATA

Dobijeni rezultati ukazuju da je na teritoriji Bačkog okruga pokrivenost stanovništva u prvih 5 minuta oko 37%, dok se za 10, 15 i 20 minuta ona povećava na 61%, 77% i 89%. Iako se na prvi pogled može zaključiti da sistem pokazuje relativno visok nivo efikasnosti, posebno u intervalu od 20 minuta, detaljnija analiza otkriva izražene prostorne neravnomernosti, naročito u manjim i perifernim naseljima. To potvrđuje da sama agregirana vrednost pokrivenosti ne odražava u potpunosti kvalitet i ravnomernost usluge na celokupnoj teritoriji.

Slični obrasci neravnomerne dostupnosti identifikovani su i u radu Chen-a i saradnika [8], gde je pokazano da pristupačnost značajno varira u zavisnosti od prostorne lokacije i saobraćajnih uslova, pri čemu su zone sa nižim nivoom dostupnosti često koncentrisane na obodima urbanih područja. Iako je u ovom istraživanju korišćen statički model, uočeni prostorni obrasci ukazuju na sličan problem: centralne zone imaju bolju pokrivenost, dok satelitska i ruralna područja zaostaju.

Posebno je značajan parametar vremena odziva vatrogasnih službi, od čega direktno zavisi efikasnost obavljanja zadatka. U različitim zemljama prag od 4 do 5 minuta predstavlja referentnu vrednost za urbano područje [9]. Posmatrano iz tog ugla, činjenica da je u Bačkom okrugu u prvih 5 minuta pokriveno svega 37% stanovništva ukazuje da sistem ne zadovoljava visoke standarde brze intervencije, posebno u kontekstu bezbednosti saobraćaja, gde su posledice saobraćajnih nezgoda često direktno zavisne od brzine dolaska interventnih službi.

Iako 89% pokrivenosti u roku od 20 minuta predstavlja relativno visok obuhvat i dalje postoji značajan prostor za unapređenje. Ostaje oko 11% stanovništva koje se nalazi van ovog vremenskog praga, a ta populacija je dominantno locirana u manjim i udaljenim naseljima. Specifičan primer predstavlja naselje Kovilj, pored koga prolazi autoput, što bi intuitivno moglo ukazivati na dobru pristupačnost. Međutim, rezultati pokazuju da postojeće baze nisu dovoljno blizu da bi se u roku od 20 minuta stiglo do samog naselja. Ovakav nalaz jasno ukazuje na potrebu razmatranja uspostavljanja nove baze u tom području, jer sama blizina autoputa nije dovoljna ukoliko je udaljenost od najbliže stanice prevelika. Ovaj primer potvrđuje da hijerarhija i kapacitet saobraćajne mreže nisu jedini faktor, već da je prostorna distribucija baza presudna za dobru pokrivenost. U literaturi se posebno naglašava problem neravnomerne raspodele resursa između urbanih i ruralnih područja [10], gde veća frekvencija baza u urbanim zonama dovodi do relativno visoke pokrivenosti u tim područjima, dok manja i disperzno raspoređena naselja ostaju delimično ili potpuno neobuhvaćena u prihvatljivim vremenskim intervalima, što se poklapa sa rezultatima dobijenim u ovom radu.

Rezultati pokazuju i to da pristupačnost nije isključivo funkcija broja baza, već i kvaliteta i povezanosti putne infrastrukture. Unapređenje propusne moći pojedinih deonica, izgradnja novih brzih koridora ili rekonstrukcija postojećih puteva može značajno skratiti vreme putovanja i time povećati obuhvat stanovništva unutar definisanih vremenskih pragova. Međutim, izgradnja novih puteva sama po sebi ne može rešiti problem ukoliko prostorna udaljenost između baze i naselja ostaje velika. Stoga je najbolje rešenje kombinacija infrastrukturnih unapređenja i strateškog planiranja novih lokacija baza. Sa druge strane, u kontekstu bezbednosti saobraćaja, brza intervencija ima direktan uticaj na smanjenje smrtnosti i težine posledica saobraćajnih nezgoda, kao i na sprečavanje sekundarnih incidenata [11]. Produženo vreme dolaska može povećati rizik po učesnike u

saobraćaju i dodatno opteretiti putnu mrežu. Iz tog razloga, analiza pristupačnosti treba da bude sastavni deo planiranja saobraćajne infrastrukture i sistema upravljanja rizicima.

U cilju daljeg unapređenja sistema raspodele baza službi za vanredne situacije, rezultati ovog istraživanja mogu se proširiti primenom modela za određivanje optimalnih lokacija baza. Sličan pristup prikazan je u radu Ivanović i saradnika, gde je rešavan problem raspodele baznih stanica za zimsko održavanje puteva [12]. Pristup prikazan u ovom radu omogućava najpre određivanje minimalnog broja baza potrebnih za pokrivanje posmatrane mreže, a zatim i izbor njihovih optimalnih lokacija uz minimizaciju ukupnog rastojanja koje vozila prelaze tokom intervencija. Integracijom sličnog optimizacionog okvira sa rezultatima analize pristupačnost sprovedene u ovom radu bilo bi moguće identifikovati ne samo zone nedovoljne pokrivenosti, već i potencijalne nove lokacije baza koje bi najefikasnije unapredile vreme odziva i teritorijalnu dostupnost sistema.

U skladu sa navedenim, može se zaključiti da postojeći raspored baza u Bačkom okrugu obezbeđuje relativno visok nivo pokrivenosti u dužem vremenskom intervalu, ali ne zadovoljava opšte kriterijume brze intervencije na značajnom delu teritorije. U cilju unapređenja sistema, neophodno je razmotriti uspostavljanje novih baza u identifikovanim kritičnim zonama (poput područja Kovilja), kao i paralelno unapređenje saobraćajne infrastrukture radi smanjenja vremena odziva. Integracija prostornih analiza, planiranja saobraćajne mreže i strateške raspodele resursa predstavljaju ključne korake ka povećanju bezbednosti saobraćaja i ukupne otpornosti sistema na vanredne situacije.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršena analiza prostorne pristupačnosti putne mreže bazama službi za vanredne situacije na teritoriji Bačkog okruga, sa posebnim osvrtom na pokrivenost stanovništva u okviru definisanih vremenskih pragova od 5, 10, 15 i 20 minuta. Rezultati su pokazali da sistem obezbeđuje relativno visok nivo ukupne pokrivenosti u intervalu od 20 minuta (89%), ali da u kritičnom periodu prvih 5 minuta odziva pokrivenost iznosi svega 37%, što ukazuje na ograničen kapacitet brze intervencije na značajnom delu teritorije.

Analiza je potvrdila da pristupačnost nije isključivo funkcija broja baza, već i njihove prostorne raspodele u odnosu na strukturu i povezanost saobraćajne mreže. Identifikovane su zone sa neadekvatnom pristupačnošću, naročito manja i periferna naselja, pri čemu se kao primer izdvaja područje Kovilja, koje i pored blizine autoputa ostaje van optimalnog vremenskog obuhvata. Ovakvi nalazi ukazuju na potrebu razmatranja uspostavljanja novih baza u kritičnim zonama, kao i na značaj unapređenja saobraćajne infrastrukture radi skraćenja vremena putovanja.

Rezultati ovog istraživanja predstavljaju dobru polaznu osnovu za donošenje strateških odluka u oblasti prostornog i saobraćajnog planiranja, kao i u domenu upravljanja rizicima. Integracija podataka o pristupačnosti u procese planiranja može doprineti racionalnijem određivanju prioriteta, kako u pogledu izgradnje novih baza u identifikovanim kritičnim zonama, tako i u pogledu unapređenja ključnih saobraćajnih pravaca koji direktno utiču na vreme odziva. Na taj način, analiza pristupačnosti postaje alat za proaktivno unapređenje sistema, a ne samo instrument za deskriptivnu procenu postojećeg stanja. Dugoročno posmatrano, ovakav pristup može doprineti povećanju bezbednosti saobraćaja, smanjenju negativnih posledica vanrednih događaja i jačanju ukupne otpornosti sistema na ovakve rizike.

Zahvalnica: Autori (Sreten Jevremović i Filip Arnaut) se zahvaljuju na finansiranju koje im je obezbedio Institut za fiziku u Beogradu, kroz ugovor sa Ministarstvom nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

Literatura

- [1] D. Liu, Z. Xu, Z. Wang, Y. Zhou, and C. Fan, "Estimation of effective coverage rate of fire station services based on real-time travel times," *Fire Safety Journal*, vol. 120, p. 103021, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.firesaf.2020.103021.
- [2] M. K. Eslamzadeh, A. Grilo, and P. Espadinha-Cruz, "A Model for Fire Departments' Performance Assessment in Portugal," *Fire*, vol. 6, no. 1, p. 31, Jan. 2023, doi: 10.3390/fire6010031.
- [3] A. Renkas, V. Popovych, and D. Rudenko, "Optimization of Fire Station Locations to Increase the Efficiency of Firefighting in Natural Ecosystems," *EREM*, vol. 78, no. 1, pp. 97–104, Apr. 2022, doi: 10.5755/j01.erem.78.1.25581.
- [4] F. Arnaut, S. Jevremović, A. Kolarski, Z. R. Mijić, and V. A. Srećković, "Spatial Modelling of Urban Accessibility: Insights from Belgrade, Republic of Serbia," *Urban Science*, vol. 9, no. 10, p. 424, Oct. 2025, doi: 10.3390/urbansci9100424.

- [5] Statistical Office of the Republic of Serbia, "Number of residents in the Republic of Serbia." Accessed: Jan. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.stat.gov.rs/en-us/>
- [6] Ministarstvo unutrašnjih poslova, "Sektor za vanredne situacije - uprave," Beograd, Republika Srbija, 2026. Accessed: Mar. 02, 2026. [Online]. Available: <http://prezentacije.mup.gov.rs/svs/opsteinfo.html>
- [7] Copernicus, "GHSL - Global Human Settlement Layer." [Online]. Available: https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/ghs_pop.php
- [8] Y. Chen *et al.*, "Exploring Spatiotemporal Accessibility of Urban Fire Services Using Real-Time Travel Time," *IJERPH*, vol. 18, no. 8, p. 4200, Apr. 2021, doi: 10.3390/ijerph18084200.
- [9] S. Shahparvari, M. Fadaki, and P. Chhetri, "Spatial accessibility of fire stations for enhancing operational response in Melbourne," *Fire Safety Journal*, vol. 117, p. 103149, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.firesaf.2020.103149.
- [10] X. Lei, D. Liu, D. Yuan, W. Liu, and Y. Zeng, "Evaluation model for rural–urban fire service resource imbalance: A county-level perspective," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 16, no. 11, p. 103695, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.asej.2025.103695.
- [11] B. Antić, M. Grdinić, D. Pešić, and V. Pajković, "Benchmarking of the road safety performance among the regions by using DEA," *Transportation Research Procedia*, vol. 45, pp. 78–86, 2020, doi: 10.1016/j.trpro.2020.02.065.
- [12] A. Ivanović, M. Nikolić, and M. Šelmić, "Determining the required number of base stations for winter road maintenance and their locations by integer linear programming," *PIS*, vol. 70, no. 3, pp. 47–53, Sep. 2024, doi: 10.31075/PIS.70.03.06.