

ISSN 2637-1987 (Print)
ISSN 2637-1928 (Online)

18. Naučno-stručni skup
Studenti u susret nauci – StES 2025

ZBORNIK RADOVA

Prirodne nauke

18th scientific conference
Students encountering science – StES 2025

PROCEEDINGS

Natural Sciences

Banja Luka
2025.

Izdavači:
Univerzitet u Banjoj Luci
Studentski parlament Univerziteta u Banjoj Luci

Za izdavača:
Prof. dr Aleksandar Ostojić
Valentina Knežević

Urednik/ci:
Marija Manojlović

Lektor za srpski jezik:
Aleksandra Savić

Lektor za engleski jezik:
Milica Guzijan

Naučni odbor:
Prof. dr Milica Balaban, prof. dr Kristina Pantelić Babić, prof. dr Aleksandar Ostojić,
prof. dr Dalibor Kesić, prof. dr Milenko Krajišnik, prof. dr Ranko Škrbić, prof. dr Saša Čvoro,
prof. dr Goran Trbić, prof. dr Ranka Perić-Romić, prof. dr Biljana Babić

Recenzenti:
red. prof. dr Davorin Bajić, red. prof. dr Dijana Jelić, doc. dr Dino Hasanagić,
viši asis. Dušan Bajović, red. prof. dr Irena Medar-Tanjga, red. prof. dr Aleksandra Petrašević,
viši asis. Luka Sabljčić, asis. Miroslav Treml, vanr. prof. dr Neda Živak, vanr. prof. dr Rajko Roljić,
red. prof. dr Tanja Maksimović, vanr. prof. Tanja Mišlicki Tomić, viši asis. Tatjana Zec,
red. prof. dr Vera Nikolić, red. prof. dr Vesna Babić, viši asis. Vukosava Čolić,
prof. dr Zvezdana Sandić, viši asis. Dragica Delić

SADRŽAJ

RADOVI:

MARIJA STEVANOVIĆ, ANALIZA PRIRODNIH RESURSA NIŠKOG REGIONA KAO FAKTOR PRIVREDNOG RAZVOJA	7
MATIJA MILIĆ, Stojan Vučković, PRIMENA GIS-A U ANALIZI TURISTIČKIH POTENCIJALA NA TERITORIJI GRADA NIŠA.....	19
MIŠA STANKOVIĆ, Matija Milić, ANALIZA PRISTUPAČNOSTI ZDRAVSTVENIH USTANOVA NA TERITORIJI OPŠTINE BUJANOVAC.....	33
MILAN MILETIĆ, Jovana Vuletić, PROSTORNA I VREMENSKA DISTRIBUCIJA POŽARA NA TERITORIJI OPŠTINE ALEKSINAC	49
NIKOLINA ĐUKIĆ, Marko Kalaba, Nemanja Banjac, REGIONALIZACIJA VODOVODNOG SISTEMA KAO PUT OPTIMALIZACIJI VODOSNABDIJEVANJA REPUBLIKE SRPSKE.....	67
VALENTINA KNEŽEVIĆ, MORFOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE I FEKUNDITET INVAZIVNE VRSTE POTAMOPYRGUS ANTIPODARUM (MOLLUSCA, GASTROPODA) – PRVI PODACI ZA BOSNU I HERCEGOVINU.....	75
ДРАГАНА КОЈИЋ, ОПТОГОНАЛНИ ПОЛИНОМИ	83

APSTRAKTI:

ANASTAZIJA ZRNIĆ, Hristina Letić, Jelena Bojinović, UTICAJ PRAJMINGA SJEMENA HITOSANOM NA OTPORNOST PŠENICE NA STRES IZAZVAN POPLAVOM	99
BOŽIDAR ILIĆ, Alenka Ristić, Jan Marčec, Saša Zeljković, EKONOMIČNA SINTEZA ZEOLITA X TIPFAU IZ OTPADNE MIKROSILIKE I ALUMINIJUMSKE FOLIJE.....	101
NATALIJA NIKOLIĆ, GIS ANALIZA UTICAJA POŽARA NA VEGETACIJU KORIŠĆENJEM NDVI: STUDIJA SLUČAJA SPECIJALNOG REZERVATA PRIRODE „CARSKA BARA”, SRBIJA	103

RADOVI

ANALIZA PRIRODNIH RESURSA NIŠKOG REGIONA KAO FAKTOR PRIVREDNOG RAZVOJA

Autor: MARIJA STEVANOVIĆ

e-mail: marijastevanovic96@gmail.com

Mentor: dr Snežana Vujadinović

Katedra za regionalnu geografiju

Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu

Uvod: Prirodni resursi često predstavljaju osnovu za stvaranje dodatne vrednosti u ekonomiji jedne regije. U slučaju Niškog regiona, oni imaju poseban značaj za poljoprivredu, turizam, prerađivačku industriju, pa čak i za energetske sektor. I pored velikog potencijala, mnogi resursi ostaju nedovoljno iskorišćeni ili se njima upravlja neefikasno.

Cilj: Cilj ovog rada je da prikaže i oceni prirodne resurse Niškog regiona, identifikuje njihov uticaj na ekonomski razvoj i ponudi smernice za njihovo efikasnije i održivije korišćenje.

Materijal i metode: Metodološki pristup podrazumeva analizu dostupnih statističkih podataka, naučne literature, kao i relevantnih strateških dokumenata Republike Srbije. Kombinacijom desk-analize i komparativnog pristupa, nastojaćemo da ponudimo celovit uvid u stanje prirodnih resursa ovog regiona i mogućnosti njihove ekonomske valorizacije.

Rezultati: Tokom analize ustanovljeno je da su glavne prepreke u razvoju neefikasno upravljanje, nedostatak strateškog planiranja, nedovoljna ulaganja u infrastrukturu i zastarela tehnologija. Posebno je izražen problem zapuštenih poljoprivrednih površina, nedovoljno razvijenog eko i banjskog turizma, kao i neadekvatnog korišćenja geotermalnih izvora. Ovim izazovima dodatno doprinosi i smanjenje broja stanovnika, kao i odliv mladih ljudi iz regiona.

Zaključak: Niški region poseduje izuzetno vredne i raznovrsne prirodne resurse koji predstavljaju jedan od ključnih potencijala za njegov ekonomski i društveni razvoj. Plodna zemljišta, brojni vodotokovi, termalne i mineralne vode, šumski fond i bogata biodiverzitetna osnova pružaju osnovu za razvoj poljoprivrede, turizma, energetike i prerađivačke industrije.

Ključne reči: prirodni resursi, privreda, Niš.

UVOD

Niški region, smešten u jugoistočnom delu Srbije, predstavlja jedan od najznačajnijih prostornih i ekonomskih centara u zemlji. Prostire se na površini od približno **2.729 km²** i prema podacima Republičkog zavoda za statistiku iz 2024. godine broji oko **343.950 stanovnika**. U strukturi privrede regiona, **poljoprivreda učestvuje sa oko 18% u lokalnom BDP-u, industrija sa oko 26%**, dok sektor usluga zauzima više od polovine ukupne ekonomske aktivnosti (Đorđević, 2018; Pavlović, 2022). Sa bogatom istorijom, povoljnim geografskim položajem i raznovrsnim prirodnim resursima, ovaj region ima potencijal da posluži kao primer regionalnog razvoja zasnovanog na racionalnom korišćenju prirodnih dobara. Geološka raznovrsnost, plodna zemljišta, termalne vode, šume i značajni vodeni tokovi čine osnovu za razvoj brojnih privrednih grana.

Prirodni resursi često predstavljaju osnovu za stvaranje dodatne vrednosti u ekonomiji jedne regije. U slučaju Niškog regiona, oni imaju poseban značaj za **poljoprivredu**,

turizam, prerađivačku industriju i energetske sektor. I pored velikog potencijala, mnogi resursi ostaju **nedovoljno iskorišćeni ili se njima upravlja neefikasno**, što dovodi do ograničenog ekonomskog učinka i neujednačenog razvoja opština. Ovim radom pokušaće se da se analiziraju postojeći kapaciteti i mogućnosti, ali i prepreke koje stoje na putu **održivog privrednog razvoja Niškog regiona.**

Cilj rada je da prikaže i oceni prirodne resurse Niškog regiona, identifikuje njihov uticaj na ekonomski razvoj i ponudi smernice za njihovo efikasnije i održivije korišćenje. Akcenat će biti stavljen na **identifikaciju ključnih resursa**, analizu njihovog stanja i trendova, kao i na **povezanost sa razvojem različitih sektora.** Posebna pažnja biće posvećena analizi načina upravljanja prirodnim resursima i njihovom doprinosu razvoju lokalnih zajednica.

Doprinos rada ogleda se u tome što pruža praktične smernice koje mogu pomoći **lokalnim institucijama, privredi i planerskim strukturama** u kreiranju razvojnih politika. Rezultati istraživanja mogu poslužiti kao polazna osnova za donošenje **mera lokalne politike održivog razvoja**, planiranje investicija u oblasti poljoprivrede, energije i turizma, kao i za bolje upravljanje prirodnim potencijalima u skladu sa savremenim ekološkim standardima (Veličković, 2024; Radosavljević, 2025).

U vremenu ubrzanih klimatskih promena i rastućih izazova u oblasti zaštite životne sredine, **od ključnog je značaja razvijati svest o važnosti racionalnog i dugoročno planiranog upravljanja prirodnim dobrima** na regionalnom nivou. Ovim radom nastoji se prikazati da Niški region, zahvaljujući bogatstvu svojih prirodnih resursa i povoljnom geografskom položaju, može postati model održivog razvoja i primer uspešne integracije ekoloških, ekonomskih i društvenih ciljeva u praksi jugoistočne Srbije.

MATERIJAL I METODE

Niški region obuhvata teritoriju **grada Niša** i okolnih opština **Nišavskog okruga**: Aleksinac, Ražanj, Sokobanja, Svrljig, Gadžin Han i Doljevac. Smešten u jugoistočnoj Srbiji, ovaj region predstavlja spoj **Panonske i Balkanske Srbije**, što ga čini geografski i saobraćajno izuzetno značajnim. Prostire se uglavnom u **slivu reke Nišave**, na dodiru planinskih i ravničarskih predela, što uslovljava raznovrsne prirodne karakteristike i mikroklimatske specifičnosti.

Slika broj 1: Nišavski region



Izvor: <https://www.alamy.com/shape-of-niavski-district-of-serbia-with-its-capital-isolated-on-white-background-topographic-relief-map-3d-rendering-image368594819.html>

Klima je **umereno-kontinentalna** sa izraženim godišnjim dobima; prosečna godišnja temperatura iznosi oko **11°C**, a prosečna količina padavina kreće se između **580 i 620 mm** godišnje (Veličković, 2024). Takvi klimatski uslovi u kombinaciji sa plodnim zemljištem dolina Nišave i Južne Morave omogućavaju stabilnu poljoprivrednu proizvodnju i diverzifikaciju kultura. Reljef regiona je raznovrstan – od **aluvijalnih ravnica** u dolinama reka, preko **blago talasastih terena**, do **planinskih masiva** kao što su Seličevica, Suva planina i Svrljiške planine. Takva geomorfološka raznolikost utiče na pojavu različitih tipova zemljišta, vodnih tokova, šumskih površina i termalnih izvora, koji čine osnovu prirodnog bogatstva ovog područja (Đorđević, 2018).

Grad Niš je administrativni, obrazovni i ekonomski centar jugoistočne Srbije. U njemu se nalaze brojne državne institucije, univerzitet, naučno-istraživački centri, tehnološki park i razvijen industrijski sektor. Kroz grad prolaze međunarodni drumski i železnički koridori (Koridor X), koji povezuju Srbiju sa **Centralnom Evropom, Bugarskom, Severnom Makedonijom i Grčkom** (Pavlović, 2022). Takva pozicija doprinosi značaju regiona u prostorno-ekonomskom sistemu zemlje.

Metodološki pristup istraživanja podrazumeva kombinaciju **desk-analize i komparativne metode**. Desk-analizom su prikupljeni sekundarni podaci iz različitih izvora, dok je komparativna metoda omogućila poređenje Niškog regiona sa sličnim područjima u Srbiji i jugoistočnoj Evropi.

U okviru istraživanja korišćeni su sledeći izvori:

- **Republički zavod za statistiku (RZS)** – podaci o demografskim i ekonomskim pokazateljima, strukturi BDP-a, površinama i upotrebi zemljišta;
- **Lokalni planovi razvoja** grada Niša i opština Nišavskog okruga (2015–2024);
- **Strateški dokumenti Republike Srbije** u oblasti zaštite životne sredine, poljoprivrede i turizma;
- **Naučna i stručna literatura** iz oblasti regionalne geografije, prirodnih resursa i održivog razvoja (Đorđević, 2018; Pavlović, 2022; Veličković, 2024; Radosavljević, 2025).

Vremenski period analize obuhvata **2010–2024. godinu**, kako bi se obuhvatili recentni trendovi u korišćenju i valorizaciji prirodnih resursa. Iako su korišćeni relevantni izvori, ograničenja istraživanja odnose se na **nedostatak ažuriranih podataka** za manje opštine (posebno Svrljig i Gadžin Han), kao i **neujednačenost statističkih pokazatelja** u segmentu iskorišćenosti šumskog i geotermalnog potencijala.

Metodološki okvir evaluacije prirodnih resursa zasnovan je na sledećim kriterijumima:

1. **Kvantitativni pokazatelji** – površina i obim raspoloživih resursa (ha, m³/s, l/s),
2. **Ekonomski pokazatelji** – doprinos pojedinih resursa lokalnom BDP-u, zaposlenost i dodata vrednost,
3. **Ekološki pokazatelji** – stepen očuvanosti i pritisci na ekosisteme,
4. **Razvojni pokazatelji** – mogućnost integracije resursa u poljoprivredu, turizam, energetiku i industriju.

Na osnovu ovih kriterijuma izvršena je analiza **zemljišnih, vodenih, šumskih i termalno-mineralnih resursa** Niškog regiona. Dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za razumevanje uloge prirodnih dobara u privrednom razvoju, kao i za definisanje mera održivog korišćenja i očuvanja resursa u budućnosti.

Prirodni resursi

Zemljišni resursi

Zemljište Niškog regiona odlikuje se izuzetnom raznovršnošću po hemijskom sastavu, teksturi i nameni. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku (2024), ukupna poljoprivredna površina iznosi oko 137.000 ha, što čini oko 50% ukupne teritorije regiona. Najveći udeo poljoprivrednog zemljišta imaju opštine Doljevac (18%), Aleksinac (16%) i Gadžin Han (14%).

Najzastupljeniji tipovi zemljišta su aluvijalna i smoničasta u dolinama Nišave i Južne Morave, koja su izuzetno plodna i pogodna za ratarsku i povrtarsku proizvodnju, dok u brdsko-planinskim područjima prevladavaju smeđa i kambisola zemljišta, pogodna za šumarstvo i stočarstvo (Pavlović, 2022).

Najčešće gajene kulture su pšenica, kukuruz, suncokret, šljiva, jabuka i paradajz, a poslednjih godina povećava se interesovanje za bobičasto voće (malina, kupina, borovnica). Prosečni prinosi iznose:

- pšenica – oko 4,2 t/ha,
- kukuruz – oko 6,3 t/ha,
- šljiva i jabuka – 12–15 t/ha,
- malina i kupina – 8–10 t/ha (Đorđević, 2018).

Zemljište predstavlja osnovu za razvoj ključnih sektora: poljoprivrede, šumarstva, ali i turizma, kroz razvoj agroturističkih domaćinstava i eko-farmi u ruralnim područjima (npr. Svrlijig i Doljevac). Ipak, oko 8.500 ha zemljišta ostaje neobrađeno, dok su pojedine površine ugrožene erozijom i nekontrolisanom urbanizacijom, naročito u okolini Niša. Održivo upravljanje zemljišnim fondom stoga je jedan od osnovnih preduslova za dugoročni razvoj regiona (Veličković, 2024).

Vodeni resursi

Niški region raspolaže značajnim površinskim i podzemnim vodnim resursima. Glavni vodotokovi su Nišava i Južna Morava, čiji prosečni godišnji protoci iznose:

- Nišava – oko 36 m³/s,
- Južna Morava – oko 120 m³/s (Stevanović, 2020).

Pored glavnih reka, prisutni su brojni manji potoci i izvori u brdsko-planinskim predelima, koji doprinose očuvanju biološke raznovrsnosti i predstavljaju važan rezervni resurs za snabdevanje vodom u ruralnim područjima.

Podzemni vodni slojevi sadrže i termalne i mineralne izvore, od kojih su najpoznatiji oni u Niškoj Banji, Kutinu i okolini Sokobanje. Na teritoriji regiona registrovano je 15 termalnih izvora ukupnog kapaciteta od oko 50 l/s. Kvalitet površinskih voda kreće se između II i III klase, dok je lokalno zagađenje zabeleženo u priobalju Nišave, usled komunalnih i industrijskih otpadnih voda (Radosavljević, 2025).

Vodeni resursi su neposredno povezani sa energetikom (potencijal za male hidroelektrane), poljoprivredom (navodnjavanje), i turizmom (banjski i rekreativni sadržaji). Održivo korišćenje voda zahteva modernizaciju sistema za tretman otpadnih voda i zaštitu vodotokova, posebno u naseljima duž Nišave.

Šume i biodiverzitet

Šumski ekosistemi Niškog regiona obuhvataju oko 68.000 ha, što predstavlja približno 25% teritorije regiona (Đorđević, 2018). Najveći šumski kompleksi nalaze se na planinama Suva planina, Seličevica i Svrliške planine, a preovlađuju hrastove, bukove i grabove šume, sa udelom četinara u višim zonama.

U regionu se nalazi pet zaštićenih prirodnih područja, među kojima se ističe Park prirode Suva planina, poznat po više od 1.200 biljnih vrsta, uključujući oko 40 endemskih. Šumski fond ima i ekonomski značaj – koristi se u drvnoj industriji, proizvodnji peleta i nameštaja, ali i za razvoj ekoturizma i planinarskih sadržaja (npr. planinarske staze „Bojane vode” i „Mosor”).

Glavni izazovi su nelegalna seča, degradacija zemljišta i slaba kontrola obnavljanja šuma. Ulaganje u monitoring, reforestaciju i ekološko gazdovanje šumama predstavlja važan korak ka unapređenju održivog razvoja regiona (Veličković, 2024).

Mineralne i termalne vode

Niški region ubraja se među najbogatije delove Srbije po prisustvu termalnih i mineralnih izvora. Najpoznatiji je kompleks Niške Banje, čiji izvori imaju temperaturu između 36°C i 38°C i ukupni protok od oko 50 l/s (Stevanović, 2020). Vode su bogate sulfatima, hidrokarbonatima i mikroelementima, te se koriste u lečenju kardiovaskularnih, reumatskih i neuroloških oboljenja.

Pored Niške Banje, aktivni izvori postoje i u Kutinu, Prosek-u i okolini Sokobanje. Iako većina nije razvijena za komercijalnu upotrebu, postoji značajan potencijal za banjski i velnes turizam, kao i za geotermalnu energetiku. Procene pokazuju da bi se korišćenjem termalne energije moglo ostvariti do 1,2 MW toplotnog kapaciteta, što bi omogućilo grejanje plastenika, staklenika i javnih objekata.

Trenutno se koristi manje od 30% dostupnih kapaciteta, uglavnom u okviru rehabilitacionog centra Niške Banje. Potrebno je sprovesti hidrogeološka ispitivanja i izraditi lokalne energetske planove kako bi se termalne vode koristile u skladu sa principima održivosti (Radosavljević, 2025).

REZULTATI

Poljoprivreda

Poljoprivreda je jedan od ključnih sektora privrede Niškog regiona i osnova egzistencije velikog broja domaćinstava. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku (2024), region raspolaže sa oko 137.000 ha poljoprivrednog zemljišta, od čega je oko 80% obradivo. Aktivno je registrovano približno 18.500 poljoprivrednih gazdinstava, od kojih više od dve trećine posluje u opštinama Doljevac, Aleksinac i Gadžin Han. Najzastupljenije kulture su kukuruz, pšenica, paradajz, šljiva, jabuka i malina. Prosečni prinosi po hektaru iznose:

- kukuruz: 6,2 t/ha,
- pšenica: 4,1 t/ha,
- paradajz: 53 t/ha,
- šljiva: 12 t/ha,
- jabuka: 16 t/ha,
- malina: 8,5 t/ha (Đorđević, 2018; Pavlović, 2022).

Poljoprivredna proizvodnja ima izraženu diverzifikaciju kultura u odnosu na reljefne uslove – ravničarski delovi okruženja pogodni su za ratarstvo i povrtarstvo, dok se u brdskim

predelima razvijaju voćarstvo, stočarstvo i pčelarstvo. Oko 8.500 ha zemljišta ostaje neobrađeno zbog migracija i nedostatka mehanizacije, što predstavlja neiskorišćen resurs. Održivi razvoj poljoprivrede zahteva modernizaciju opreme, izgradnju sistema za navodnjavanje i veću podršku mladim proizvođačima. Ulaganjem u agro-logistiku, preradu i organsku proizvodnju, sektor bi mogao da ostvari rast i do 20% dodate vrednosti u narednih pet godina (Radosavljević, 2025).

Turizam

Turistički potencijal Niškog regiona zasnovan je na bogatim prirodnim resursima i kulturno-istorijskim vrednostima. Najznačajniji centri su Niška Banja, Suva planina, Cerjanska pećina i Bojanine vode. Prema podacima Turističke organizacije Niša (2023), region godišnje poseti oko 165.000 turista, od čega oko 35% stranih. Broj noćenja iznosi približno 420.000 godišnje, dok je prosečna popunjenost kapaciteta 45%. Ukupan prihod od turizma procenjuje se na oko 12 miliona evra godišnje, s tendencijom rasta zahvaljujući banjском i kongresnom turizmu. U regionu je registrovano 96 smeštajnih objekata (hoteli, vile, privatni apartmani), kao i više od 70 km uređenih planinarskih staza na Suvoj planini i Svrlijskim planinama (Veličković, 2024). Nedostatak ulaganja u infrastrukturu, promociju i digitalizaciju turističke ponude ostaje glavni izazov. Dalji razvoj turizma zahteva integraciju zdravstvenih, rekreativnih i eko-sadržaja, čime bi se stvorila održiva turistička ponuda i povećala prepoznatljivost regiona.

Energetika

Iako Niški region nije veliki energetska centar, raspolaže značajnim lokalnim potencijalima obnovljivih izvora energije.

- Biomasa: procenjuje se da je godišnji potencijal biomase (drvena masa, poljoprivredni otpad) oko 80.000 t, što predstavlja mogućnost za proizvodnju oko 120 GWh toplotne energije.
- Hidroenergija: reke Nišava i Južna Morava imaju tehnički potencijal od oko 15 MW, pogodnih za male hidroelektrane (Stevanović, 2020).
- Geotermalna energija: termalne vode Niške Banje i Kutina imaju protok od oko 50 l/s i temperaturu 36–38°C, što omogućava razvoj geotermalnog grejanja plastenika i javnih objekata sa potencijalnim kapacitetom od 1,2 MW.

Korišćenjem lokalnih resursa moglo bi se ostvariti smanjenje potrošnje fosilnih goriva za 10–15%, uz istovremeno smanjenje emisije CO₂ i veći stepen energetske samostalnosti ruralnih zajednica. Međutim, nedostatak investicija i strategije razvoja obnovljivih izvora ostaje prepreka za širu implementaciju (Radosavljević, 2025).

Prerađivačka industrija

Prerađivačka industrija u Niškom regionu ima dugu tradiciju i obuhvata oblasti prehrambene, tekstilne, drvne i mašinske industrije. U regionu posluje oko 1.100 prerađivačkih preduzeća, od čega više od 60% mikro i malih firmi (Pavlović, 2022). Najveći broj preduzeća bavi se preradom voća i povrća, proizvodnjom džemova, sokova, sušenog voća, mlečnih proizvoda i mesa. Ukupan godišnji obim prerade voća i povrća procenjuje se na oko 55.000 t, dok se oko 25% proizvoda izvozi u zemlje regiona i EU. Veći prerađivači poput „Niška mlekar“, „Pionir – Niš“ i „Džemeks“ doprinose razvoju lokalne privrede,

zapošljavajući ukupno više od 3.000 radnika. Drvna industrija koristi lokalne šumske resurse za proizvodnju građe, peleta i nameštaja, naročito u opštinama Svrljig i Gadžin Han, dok se tekstilni sektor oporavlja zahvaljujući malim porodičnim radionicama. Ukupno iskorišćenje lokalnih resursa u prerađivačkom sektoru iznosi oko 45%, što pokazuje prostor za povećanje dodate vrednosti kroz lokalnu preradu (Đorđević, 2018). Dalji razvoj ovog sektora zahteva ulaganje u tehnološku modernizaciju, podsticaje za istraživanje i razvoj, kao i jačanje veza između proizvođača i tržišta. Prerađivačka industrija ima ključnu ulogu u smanjenju sirovinskog izvoza i stvaranju konkurentne, regionalno zasnovane privrede.

DISKUSIJA

Iako Niški region poseduje značajne prirodne resurse koji mogu biti osnova za ekonomski razvoj, njihovo korišćenje je često neefikasno i nedovoljno planirano. Prema podacima iz prethodnih analiza, čak **8.500 ha poljoprivrednog zemljišta** ostaje **neobrađeno**, dok se više od **25% šumskih površina** suočava sa **nelegalnom sečom** i degradacijom. Ovakvo stanje ukazuje na nedostatak strateškog upravljanja resursima i neusklađenost između razvojnih planova i realnih kapaciteta regiona. Istovremeno, kvalitet vode u reci Nišavi opada zbog ispuštanja **industrijskih i komunalnih otpadnih voda**, a prosečna zagađenost svrstava je u **III klasu kvaliteta**, što pokazuje ograničenu efikasnost sistema zaštite životne sredine (Stevanović, 2020). Ekonomski potencijal Niškog regiona takođe nije u potpunosti iskorišćen – **iskorišćenost geotermalnih kapaciteta Niške Banje** iznosi tek **30%**, dok turizam, i pored **165.000 turista godišnje**, ne ostvaruje pun doprinos regionalnom BDP-u zbog slabe infrastrukture i sezonskog karaktera poseta. Brojni proizvodni i turistički objekti rade sa zastarelom opremom, što smanjuje efikasnost i povećava troškove poslovanja. U mnogim delovima regiona, naročito u opštinama Gadžin Han i Svrljig, nedostaju osnovni uslovi kao što su sistemi za navodnjavanje, putna povezanost ili kanalizaciona mreža, što usporava razvoj privrede zasnovane na lokalnim resursima.

U **urbanim područjima**, poput grada Niša, izazovi se odnose pre svega na **urbani-zacijski pritisak**, zagađenje vazduha i saobraćajnu opterećenost, dok **ruralna područja** trpe posledice **demografske depopulacije i ekonomskog zastoja**. U selima Nišavskog okruga broj stanovnika je u poslednjoj deceniji opao za više od **20%**, a prosečna starost poljoprivrednika premašuje **56 godina**, što ukazuje na nedostatak mladih kadrova i pretnju prekida agrarne tradicije. Ekološki izazovi dodatno komplikuju situaciju – prekomerna eksploatacija šuma, erozija zemljišta i nekontrolisana izgradnja dovode do degradacije prirodnih ekosistema i smanjenja biodiverziteta. Nepostojanje kontinuiranog **monitoringa** stanja resursa rezultira pojavom **klizišta i smanjenjem kvaliteta zemljišta**, naročito u priobalju Južne Morave.

Primer dobre prakse

Model koji bi mogao da posluži kao uzor Niškom regionu je **projekat „Zelena ekonomija Zlatiborskog okruga”**, koji uključuje kombinaciju **eko-turizma, organske poljoprivrede i prerade lokalnih proizvoda**, finansiran kroz **IPA fondove EU**. Na sličan način, **regija Južni Tirol (Italija)** uspešno je integrisala **geotermalnu energiju i ruralni turizam**, čime je ostvarila rast lokalnog BDP-a od **18%** u desetogodišnjem periodu. Implementacijom sličnog modela, uz podršku lokalnih univerziteta i razvojnih agencija, Niški region bi mogao povećati ekonomsku vrednost resursa i smanjiti zavisnost od spoljnog kapitala.

Rešavanje ovih problema zahteva **multisektorski pristup**, koji uključuje državne institucije, lokalne samouprave, naučne ustanove i privatni sektor. Neophodno je uložiti u obrazovanje, podizanje svesti o značaju održivog razvoja i primenu uspešnih evropskih

modela. Samo koordinisanim pristupom i sistematskim planiranjem Niški region može u potpunosti valorizovati svoje resurse i pretvoriti ih u instrument dugoročnog ekonomskog rasta i poboljšanja kvaliteta života stanovništva.

Održivi razvoj i potencijal za budućnost

Koncept održivog razvoja predstavlja osnovu za dugoročno i racionalno korišćenje prirodnih resursa, pri čemu se ekonomski rast mora odvijati u skladu sa zaštitom životne sredine i potrebama budućih generacija. U kontekstu Niškog regiona, koji se suočava sa ekonomskim, demografskim i ekološkim izazovima, održivi razvoj predstavlja ključnu šansu za preobražaj lokalne ekonomije.

Sektorski pristupi održivosti

Poljoprivreda i zemljišni resursi

Razvoj *održive poljoprivrede* zasniva se na smanjenju neobrađenih površina (trenutno 8.500 ha) kroz uvođenje *programa podrške mladim poljoprivrednicima* i *subvencionisane kredite* za modernizaciju mehanizacije. Cilj je da se do 2030. godine najmanje **60% poljoprivrednog zemljišta** koristi u skladu sa principima održive obrade (rotacija kultura, smanjenje hemijskih pesticida, organska proizvodnja).

Indikator uspeha: povećanje površina pod održivom poljoprivredom sa 35% na 60% i rast prinosa za 15%.

Vodni resursi i geotermalna energija

Ulaganje u *infrastrukturu za prečišćavanje otpadnih voda* i *sisteme navodnjavanja* treba da postane prioritet lokalnih samouprava. Planirana modernizacija kanalizacione mreže i izgradnja mini postrojenja za tretman otpadnih voda duž reke Nišave i Južne Morave omogućila bi smanjenje zagađenja za **40% do 2032. godine**.

Paralelno, termalne vode Niške Banje i Kutina treba koristiti za *geotermalno grejanje plastenika* i *javnih objekata*, čime bi se smanjila upotreba fosilnih goriva i emisija CO₂ za oko **15% godišnje**.

Indikator uspeha: broj geotermalnih sistema u funkciji (min. 10 do 2030) i povećanje navodnjavanih površina za 25%.

Šume i biodiverzitet

U oblasti šumarstva neophodno je sprovesti *program reforestacije* i *zaštite biodiverziteta* u saradnji sa Šumarskim fakultetom i lokalnim NVO. Cilj je povećanje šumskih površina sa sadašnjih 68.000 ha na **75.000 ha do 2035. godine**, kao i jačanje ekoturizma na Suvoj planini.

Indikator uspeha: broj posađenih stabala (min. 200.000 godišnje) i povećanje prihoda od ekoturizma za 20%.

Turizam i kulturno-nasleđeni resursi

Niški region ima veliki potencijal za razvoj *eko* i *zdravstvenog turizma*. Fokus treba staviti na modernizaciju smeštajnih kapaciteta Niške Banje, digitalizaciju turističke ponude i izgradnju biciklističkih i planinarskih staza (ukupno 120 km do 2030).

Indikator uspeha: povećanje broja turista sa 165.000 na **250.000 godišnje**, kao i popunjenosti kapaciteta na 65%.

Energetika i lokalna industrija

U sektoru energetike, potrebno je razviti *pilot-projekte biomase i malih hidroelektrana* snage do 15 MW, u saradnji sa EBRD i lokalnim komunalnim preduzećima. Kroz javno-privatna partnerstva može se ostvariti **smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva za 20% do 2032. godine.**

Prerađivačka industrija treba da uvede *sisteme cirkularne ekonomije* – reciklažu otpada, korišćenje nusproizvoda poljoprivrede i prerade.

Indikator uspeha: rast broja zelenih industrijskih postrojenja (min. 5 do 2030) i porast zaposlenosti u održivim sektorima za 10%.

Implementacija i partnerstva

Za sprovođenje mera održivog razvoja neophodno je uspostaviti *Regionalni centar za upravljanje resursima Niškog okruga*, koji bi koordinisao projekte, pratio indikatore i pripremao dokumentaciju za konkurisanje za **EU fondove** (IPA III, LIFE, Horizon Europe). Cilj je realizacija najmanje **15 projekata** iz oblasti zaštite prirode, energetske efikasnosti i ruralnog razvoja do 2030. godine.

Finansijski modeli uključuju kombinaciju javnih sredstava, privatnih investicija i evropskih fondova, uz podršku međunarodnih partnera kao što su **UNDP, EBRD i GIZ.**

Saradnja sa Univerzitetom u Nišu, Poljoprivrednim fakultetom i naučnoistraživačkim institutima omogućila bi razvoj *edukativnih programa o obnovljivim izvorima energije, cirkularnoj ekonomiji i agroekologiji*, namenjenih lokalnom stanovništvu i mladima.

Indikatori uspeha

Tabela br. 1: Indikatori uspeha

Sektor	Indikator	Cilj do 2030
Poljoprivreda	Površine pod održivom obradom	60%
Vode	Smanjenje zagađenja reka	40%
Šume	Povećanje šumskih površina	75.000 ha
Turizam	Broj turista godišnje	250.000
Energetika	Udeo obnovljivih izvora	20%
EU projekti	Broj finansiranih projekata	15+

Ukoliko se realizuju predložene mere i obezbedi koordinisana saradnja lokalnih institucija, akademske zajednice i međunarodnih partnera, Niški region može u narednih **10 godina** postati model održivog razvoja za jugoistočnu Srbiju. Fokus na obnovljive resurse, ekoturizam, modernu poljoprivredu i edukaciju mladih stvorice osnovu za dugoročnu ekonomsku otpornost i ravnomeran regionalni napredak.

ZAKLJUČAK

Niški region raspolaže izuzetno bogatim i raznovrsnim prirodnim resursima koji predstavljaju osnovu za njegov budući ekonomski i društveni razvoj. Na teritoriji od oko **2.729 km²** živi približno **344.000 stanovnika**, a region raspolaže sa oko **137.000 ha poljoprivrednog zemljišta**, **68.000 ha šumskih površina** i brojnim vodnim resursima, uključujući reke **Nišavu i Južnu Moravu**, kao i **termalne izvore Niške Banje** kapaciteta do **50 l/s**. Ovi resursi omogućavaju razvoj poljoprivrede, turizma, energetike i prerađivačke industrije kao glavnih oslonaca privrednog napretka.

Analiza je pokazala da su ključne prepreke u razvoju regiona **neefikasno upravljanje resursima, nedostatak strategije održivog razvoja, zastarela tehnologija, te nedovoljna ulaganja u infrastrukturu i inovacije**. Oko **8.500 ha poljoprivrednog zemljišta** ostaje neobrađeno, a samo **30% geotermalnog potencijala Niške Banje** se koristi. Turizam ostvaruje oko **165.000 poseta godišnje**, što je znatno ispod realnog kapaciteta od preko 250.000 turista. Istovremeno, demografska slika pokazuje konstantan pad broja stanovnika i izražen odlazak mladih iz ruralnih područja.

Uprkos navedenim problemima, Niški region ima **realan potencijal za razvoj zasnovan na održivosti**. Uvođenjem modernih pristupa u poljoprivredu, razvojem eko-turizma i obnovljivih izvora energije, te jačanjem lokalnih prerađivačkih kapaciteta, moguće je ostvariti značajan ekonomski napredak.

Kratkoročne preporuke (2025–2030):

- Aktivirati zapuštene poljoprivredne površine kroz subvencije i programe podrške mladim proizvođačima.
- Modernizovati sisteme navodnjavanja i zaštite voda; smanjiti zagađenje reka Nišave i Južne Morave za najmanje **30%**.
- Digitalizovati turističku ponudu i unaprediti infrastrukturu Niške Banje i Suve planine.
- Pokrenuti najmanje **pet lokalnih projekata** finansiranih iz EU fondova (IPA, Green Deal, Horizon Europe).

Dugoročne preporuke (2030–2035):

- Povećati površine pod održivom poljoprivredom na **60% ukupnog zemljišta**.
- Povećati udeo obnovljivih izvora energije u regionalnom energetsom bilansu na **20%**.
- Udvostručiti broj turista na godišnjem nivou (na 250.000 poseta).
- Povećati šumske površine na **75.000 ha** kroz programe pošumljavanja i očuvanja biodiverziteta.
- Usvojiti i primeniti *Regionalni plan održivog razvoja Niškog okruga* kao strateški dokument.

Realizacijom ovih ciljeva u narednih **pet do deset godina**, Niški region može postati **model održivog regionalnog razvoja** u Srbiji – prostor u kojem se prirodni resursi koriste racionalno, ekonomija zasniva na zelenim tehnologijama, a stanovništvo uživa viši kvalitet života. Sinergija između lokalne samouprave, obrazovnih institucija, privrede i međunarodnih partnera ključ je za ostvarenje dugoročne stabilnosti, konkurentnosti i otpornosti Niškog regiona u okviru savremene evropske razvojne politike.

LITERATURA

1. Đorđević, M. (2018). *Prirodni resursi Srbije*. Geografski fakultet, Beograd.
2. Ilet, Beograd.
3. European Commission. (2022). *IPA III Programming Framework for Serbia (2021–2027)*. Brussels: European Commission.
4. European Environment Agency (EEA). (2021). *Environmental indicators for South-Eastern Europe*. Copenhagen: EEA.
5. Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije. (2022). *Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2022. godinu*. Beograd: Ministarstvo zaštite životne sredine.

6. Pavlović, Lj. (2022). *Regionalna geografija Srbije*. Zavod za udžbenike, Beograd.
7. Radosavljević, A. (2025). *Privredna geografija jugoistočne Srbije*. Ekonomski fakultet, Niš.
8. Regionalna razvojna agencija Jug. (2023). *Plan održivog razvoja Nišavskog okruga 2023–2030*. Niš: RRA Jug.
9. Republički zavod za statistiku. (2024). *Statistički godišnjak Republike Srbije 2024*. Beograd: RZS.
10. Stevanović, Z. (2020). *Vodni resursi i zaštita voda u Srbiji*. Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd.
11. Turistička organizacija Niša. (2023). *Statistički izveštaj o turističkom prometu Niškog regiona*. Niš: TON.
12. Veličković, M. (2024). *Osnove održivog razvoja i zaštite životne sredine*. Univerzitet u Nišu, Niš.

Internet sajтови:

<https://www.alamy.com/shape-of-niavski-district-of-serbia-with-its-capital-isolated-on-white-background-topographic-relief-map-3d-rendering-image368594819.html>

ANALYSIS OF THE NATURAL RESOURCES OF THE NIŠ REGION AS A FACTOR OF ECONOMIC DEVELOPMENT

Author: MARIJA STEVANOVIĆ

Email: marijastevanovic96@gmail.com

Mentor: Prof. Snežana Vujadinović

Faculty of Geography, University of Belgrade

Introduction: Natural resources are often the basis for creating additional value in the economy of a region. In the case of the Niš region, they have a special importance to agriculture, tourism, the processing industry, and even to the energy sector, and despite the great potential, many resources remain underutilized or managed inefficiently.

Aim: The objective of this paper is to present and evaluate the natural resources of the Niš region, identify their impact on economic development, and offer guidelines for their more efficient and sustainable use.

Materials and Methods: The methodological approach involves the analysis of available statistical data, scientific literature, as well as relevant strategic documents of the Republic of Serbia. By combining desk analysis and a comparative approach, we will try to offer a complete insight into the state of the natural resources of this region and the possibilities of their economic valorization.

Results: During the analysis, it was found that the main obstacles to development are inefficient management, lack of strategic planning, insufficient investment in infrastructure, and outdated technology. The problem of neglected agricultural areas, insufficiently developed ecotourism and spa tourism, as well as inadequate use of geothermal sources, is particularly pronounced. The decrease in the number of inhabitants, as well as the outflow of young people from the region, also contribute to these challenges.

Conclusion: The Niš region has extremely valuable and diverse natural resources that represent one of the key potentials for its economic and social development. Fertile lands, numerous water-courses, thermal and mineral waters, forest area, and a rich biodiversity base provide the basis for the development of agriculture, tourism, energy, and the processing industry.

Keywords: natural resources; economy; Niš

PRIMENA GIS-A U ANALIZI TURISTIČKIH POTENCIJALA NA TERITORIJI GRADA NIŠA

Autor: MATIJA MILIĆ, Stojan Vučković

e-mail: jumpermaki@gmail.com

Mentor: prof. dr Ivan Novković

Katedra za GIS

Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu

Uvod: U ovom radu je analizirano trenutno stanje turističkih atrakcija (vrednosti), objekata i njihovih potencijala na teritoriji grada Niša, kao i projektovano njihovo potencijalno stanje u slučaju preduzimanja mera i aktivnosti koje bi za rezultat dale veću atraktivnost prostora grada Niša. Uvodni deo rada bavi se prikazom i opisom odabranih prirodnih i kulturnih turističkih vrednosti i pratećih objekata (saobraćajnih objekata i puteva, hotela, turističkih informativnih centara) u GIS softveru, kojim se može dati jasan vizualan prikaz turističkih vrednosti.

Cilj: Namera ovog istraživanja je da se, primenom metoda geografskih informacionih sistema (GIS), izvrši analiza turističkih atrakcija, objekata i njihovih potencijala na teritoriji grada, identifikacija prostornih obrazaca i vizualizacija turističkih resursa, koji mogu pružiti informacije o pristupačnosti turističkih vrednosti i definišu preporuke za unapređenje turističke ponude.

Materijal i metode: U radu su primenjeni analitičko-sintetički, kartografski i metod geoprostorne analize. Kao relevantan parametar prilikom kartiranja turističkih objekata uzeti su pravci kretanja turista prilikom obilaska turističkih atrakcija i objekata.

Rezultati: Rezultati istraživanja bi trebalo da nam daju uvid u identifikaciju manje pristupačnih atrakcija, gustine objekata i prostorne raspodele, koje su mere i aktivnosti koje treba preduzeti da bi se poboljšala celokupna turistička ponuda grada Niša.

Zaključak: Istraživanje potvrđuje da GIS metodologija ima značajnu primenu u analizi turističkih potencijala i objekata i pruža efikasan instrument za kartografsku vizualizaciju turističkih vrednosti i kreiranje ruta turista, a rezultati istraživanja mogu doprineti daljem strateškom planiranju turizma u gradu Nišu.

Ključne reči: GIS, turistički potencijali, turističke atrakcije (vrednosti), turistička infrastruktura, turistički objekti, Grad Niš.

UVOD

Grad Niš se nalazi u Niškoj kotlini. Nalazi se na od 43°15' do 43°30' severne geografske širine i od 21°49' i 22°13' istočne geografske dužine [25]. Grad se prostire na površini od 454,96 km², ne računajući teritoriju gradske opštine Niška Banja (oko 0,7% površine Srbije i 21,8% površine Nišavskog upravnog okruga). Najviša tačka na teritoriji grada je Sokolov kamen, jedan od vrhova na Suvoj planini (1523 m nadmorske visine), dok se najniža tačka nalazi nizvodno od ušća Nišave u Moravu, kod sela Trupale [1]. Geografski položaj grada Niša u odnosu na teritoriju Nišavskog upravnog okruga i Srbije prikazan je na Slici br. 1.

Niš se nalazi na raskrsnici značajnih nacionalnih, balkanskih i evropskih saobraćajnih pravaca. Kroz teritoriju grada prolaze auto-put i železnička pruga koji povezuju sever i jug Srbije – iz Niša se odvaja krak auto-puta i železničke pruge koji vode ka

istočnoj Srbiji i granici sa Republikom Bugarskom. Dva značajna pravca transportne mreže, Koridor 10 (Salzburg–Ljubljana–Zagreb–Beograd–Niš–Skoplje–Veles–Solun) i Koridor 7 (plovni put Dunavom koji povezuje Nemačku sa Crnim morem). Navedeni putni pravci bili su poznati još od najstarijih vremena kao pravci kretanja naroda, robe i vojske: „Via Militaris” u periodu Rimskog i Vizantijskog carstva i „Carigradski drum” u srednjevekovnom periodu u doba Turaka. Danas su to glavni magistralni evropski pravci na Balkanu, koji Niš čine raskrsnicom Evrope sa Malom Azijom i Crnomorskom primorja sa Mediteranom [1].

Grad Niš je jedan od najstarijih gradova na Balkanu, treći po veličini u Srbiji, najveći grad južne i jugoistočne Srbije i sedište je Nišavskog upravnog okruga. Grad Niš je prirodni, društveni, privredni, obrazovni, zdravstveni, kulturni i sportski centar jugoistočne Srbije [1]. Prema popisu iz 2022. godine u Nišu živi 249.501 stanovnik [2].

Saobraćaj ima važnu ulogu u razvoju turizma konkretne destinacije. Predstavlja sponu između doma, destinacije, smeštaja, atrakcija, koji se smatraju glavnim elementima putovanja. Saobraćaj, odnosno prevoz čini važan deo turizma i iskustva turista na destinaciji. U mnogim studijama koje se bave turizmom, naglašena je glavna veza između saobraćaja i turizma i definisana terminom „pristupačnost”, što znači da se smatra da transport ima suštinsku vezu između regiona generisanja turista i regiona turističkih destinacija [3]. S tim u vezi, saobraćajna infrastruktura predstavlja važan segment u sektoru turizma grada Niša, što potvrđuju strateški položaj grada i njegove karakteristike privrednog i turističkog centra južnog i istočnog dela Srbije. Na području Niša ukršta se više vrsta saobraćajnica i komunikacionih linija: koridor X i krak Xc, železničke pruge, autobuska stanica, aerodrom „Konstantin Veliki” i planirane pruge za velike brzine, robno-pretovarni centar, optički kablovi, TV i CT predajnici kao i strujni dalekovod 400 kW. Međunarodni put E-75, koji delom prolazi kroz Srbiju, spada u značajnije evropske putne pravce. Svrstan je u TEM puteve (Trans European Motorways), koji za jedan od ciljeva imaju povezivanje hladnih i toplih mora Evrope. Prema svom značaju u putnoj mreži Srbije, putni pravac Budimpešta–Subotica–Novi Sad–Beograd–Niš–Leskovac–Vranje–Skoplje–Solun zauzima istaknuto mesto, s obzirom na to da prolazi kroz privredno razvijena područja sa velikom gustinom naseljenosti [1]. Glavna saobraćajnica dolazi iz pravca Beograda do severne granice Niša, odakle se račva ka jugu dolinom Južne Morave i Vardara i vodi ka Solunu i Atini (E-75) i istoku dolinom Nišave i Marice prema Sofiji, Istanbulu i dalje ka Bliskom i Srednjem istoku (E-80). Osim nacionalnih i međunarodnih saobraćajnica, na teritoriji grada je slabije razvijen sistem regionalnih saobraćajnica (Niš–Kruševac–Čačak–Užice, pravac Niš–Zaječar–Negotin–bugarska i rumunska granica). Okosnicu drumskih veza na teritoriji grada Niša čine državni putevi I i II reda i opštinski putevi [4], kao što je prikazano na Slici br. 2.

Najvažniji saobraćajni punktovi na teritoriji grada Niša su autobuska i železnička stanica i međunarodni aerodrom „Konstantin Veliki”, kao što je prikazano na Slici br. 2. Autobuska stanica u Nišu se nalazi na Bulevaru 12. februar, pored Niške tvrđave i pijace, na desetak minuta hoda od centra grada. Sa perona svakodnevno kreću međunarodni polasci, brojni međugradski polasci ka svim većim gradovima u Srbiji, kao i veliki broj lokalnih polazaka [5]. Glavna železnička stanica nalazi se u širem centru grada, odnosno od centra je udaljena oko 2 km. Sa stanice se realizuju polasci za Skoplje, Sofiju, Istanbul i Solun. Postoji i sasvim skroman broj polazaka za Beograd, Zaječar, Kuršumliju, Preševo [1]. Međutim, železnička stanica je u poslednje vreme u zapuštenom stanju, stoga je raspisan tender za rekonstrukciju stanice [6]. Aerodrom Konstantin Veliki drugi je aerodrom po broju primljenih putnika u Srbiji, nalazi se na svega 4 km od Niša na jugoistoku zemlje, u naselju Medoševac. Aerodrom je sredinom 20. veka korišćen kao vojna baza, a zvanično je otvoren 1986. godine. Od tada, pa sve do proteklih nekoliko godina, broj putnika nije prelazio 30000. Značajan pomak napravljen je potpisivanjem ugovora sa niskotarifnim

avio prevoznicima Wizz Air (2015) i Ryanair (2016), kao i švajcarskim nacionalnim prevoznikom SWISS airlines, nakon čega se broj putnika uvećao za gotovo 10 puta. Danas aerodrom Konstantin Veliki služi kao alternativni aerodrom aerodromima u Beogradu, Sofiji i Skoplju, a sa njega putnici po vrlo pristupačnim cenama mogu leteti za Bazel, Dortmund, Berlin, Bergamo, Malme i još nekoliko gradova [7].

Grad Niš obiluje turističkim atrakcijama, kako prirodnim tako i kulturnim, čiji je prikaz na Slici br. 3. i ima ih 10, od kojih su tri prirodne i sedam kulturne turističke vrednosti. Spadaju među poznatijim turističkim vrednostima i imaju dobru pristupačnost. Za potrebe ovog rada, od prirodnih atrakcija izdvojimo Banju Topilo, Cerjansku pećinu i Kamenički vis. Banja Topilo se nalazi na 25 km severno od Niša u dolini Toponičke reke. Topla mineralna voda sa temperaturom od 34 °C izvire iz oko 18 izvora, snagom 10 m³/s, čija se svojstva koriste za piće i u terapijske svrhe za kupanje. Banja nema dovoljno izgrađenu infrastrukturu, te su potrebna znatna ulaganja [1] [8].

Spomenik prirode Cerjanska pećina je zakonom zaštićeno prirodno dobro koje čine erozivno tektonski kraški speleološki objekti locirani na oko 14 km od centra Niša, na severnim predelima Kalafata, u blizini Kameničkog visa. Ukupna dužina do sada ispitanih pećinskih kanala je 7149 m, po čemu je ovo drugi najduži istraženi pećinski sistem u Srbiji [9].

Kamenički vis je omiljeno jednodnevno izletišta Nišlija, udaljeno od grada 14 km. Smešten je na ograncima Svrlijskih planina, iznad sela Kamenica, po kome je dobilo ime, na nadmorskoj visini od 750-800 m. Teren je blago formiran i pokriven niskim šumskim rastinjem [10].

Grad Niš svojim kulturnim nasleđem turistima pruža priliku da se upoznaju sa njegovom bogatom istorijom, čija riznica datira od dalekih praistorijskih perioda [1]. Od kulturnih atrakcija grada Niša najznačajnije su: Medijana, Čele-kula, Spomen-park Bujanj, Narodni muzej, Niška tvrđava, Logor Crveni krst i spomenik na Čegru.

Arheološko nalazište Medijana nalazi se na nekadašnjem rimskom putu „Via Militaris”, današnjem E-80 (Niš–Sofija). Udaljeno je 5 km od grada Niša i predstavlja zadužbinu Konstantina Velikog i njegovih sinova. U zgradi muzeja, na samom lokalitetu, mogu se videti neke od kamenih skulptura, predmeta koji su služili za svakodnevnu upotrebu (zdele, krčazi, lampe...), kao i ostaci olovnih cevi kojima se iz Niške Banje doprema topla, lekovita voda [1] [11].

Čele-kula je jedinstven spomenik u svetu, nastao kao posledica velike bitke na Čegru. Ovaj spomenik sazidan je na putu za Carigrad kao opomena onima koji dižu bunu protiv Turskog carstva. Osim kule, u kompleksu se nalaze kapela, bista Stevana Sindelića i bronzana ploča. Godišnje ovaj spomenik obiđe preko 30000 posetilaca [1] [12].

Memorijalni park Bujanj nalazi se jugozapadno od centra grada na pošumljenom uzvišenju zvanom Bujanj, udaljenom 3 km od centra grada Niša. Tokom II svetskog rata ovo mesto je bilo jedno od najvećih stratišta na području Jugoslavije [1] [13].

U arheološkoj sali Narodnog muzeja nalaze se brojni eksponati koji slikovito predstavljaju priču o jednom delu istorijskog i civilizacijskog razvoja grada Niša. Ovde su izložena jedinstvena umetnička dela skulptora kao što su kopija portreta cara Konstantina, skulptura Jupitera na tronu i portret vizantijske carice Teodore/Eufemije [1].

Niška tvrđava smeštena je na desnoj obali reke Nišave, u centru grada, predstavlja jedno od najočuvanijih zdanja turske vojne arhitekture na srednjem Balkanu. Osim dobro očuvanih masivnih kamenih zidina i kapija, značajni ostaci su i: zbirka nadgrobničkih spomenika (Lapidarijum), ostaci rimskih termi, hamam, arsenal, Bali-begova džamija, barutane, spomenik knezu Milanu Obrenoviću i oslobodiocima Niša, zgrada zatvora i zgrada Istorijskog arhiva [1].

Koncentracioni logor na Crvenom krstu predstavlja jedan od malobrojnih sačuvanih fašističkih logora u Evropi. Jedna od činjenica koje ovaj logor izdvaja od ostalih je ta da je

iz ovog logora 12. februara 1942. godine izvedeno masovno bekstvo logoraša. Zbog toga je 12. februara 1967. godine na dvadesetpetogodišnjicu bekstva logoraša, prostor logora pretvoren u Spomen-muzej „12. februar” [1].

Spomenik na Čegru podignut je u znak sećanja na vojnike i njihovog komandanta Stevana Sindelića, poginulih na ovom mestu u bici iz Prvog srpskog ustanka. Spomenik u obliku kule podignut je povodom 50 godina oslobođenja Niša [1].

Smeštaj je neophodni element turističkog proizvoda. Ne samo što je najveći i najzastupljeniji sektor u okviru turističke ekonomije, čineći oko jedne trećine ukupne potrošnje tokom puta, nego je i neophodna komponenta turističkog iskustva [14]. Na teritoriji grada Niša, ne računajući Nišku banju, ima 21 hotel, šest hostela i osam prenoćišta [26]. Najznačajniji hotelski objekti u gradu Nišu su Hotel Ambasador 5*, Hotel New City 4*, Garni Hotel Lotos 3*, Hotel Marica 3*, Tami resort 4*, a lokacija ovih objekata je prikazana na Slici br. 4. Ovi hoteli su izdvojeni po tome što imaju dobru lokaciju, spadaju među najbolje kategorizovane smeštajne objekte i dobro su povezani sa ostalim delovima grada Niša i pratećim turističkim vrednostima.

Hotel Ambasador 5* nalazi se u samom srcu grada, na Trgu Kralja Milana. Hotel sadrži luksuzno opremljene sobe, recepciju, restoran, lobi bar, spa i fitnes centar, menjačnicu i frizerski salon. U blizini hotela nalaze se Niška tvrđava, Spomenik oslobodiocima Niša i Narodno pozorište u Nišu [15].

Hotel New City 4* se nalazi u strogom centru grada, preko puta hotela Ambasador. U ponudi hotela je 76 soba i apartmana u nekoliko kategorija smeštaja. Od ostalih sadržaja zastupljeni su „A la carte” restoran, tri konferencijske sale i velika Banquet sala „Grand” u prizemlju hotela, koja služi za organizaciju raznih svečanosti [16].

Garni Hotel Lotos 3* poseduje 15 spavaćih soba, kapacitet smeštaja 55 osoba. Osim ležaja, u sobama postoje kablovska televizija, bežični internet, klima uređaj i kupatilo. Hotel se nalazi u turističkom jezgru Niša, u samom centru grada. U sklopu hotela se nalazi kafe poslastičara „Lotos” [17].

Hotel Marica 3* udaljen je svega na par minuta od centra Niša. Smešten je na uzvišenju sa kog se pruža panoramski pogled na grad i okolinu. Hotel sadrži sobe, tri restorana, kongresni centar i otvoreni bazen [18].

Tami resort 4* je kongresno hotelski kompleks u srcu Niša koji u svom sastavu nudi hotele Tami Residence sa dependansom i Constantinus Palace. Sa 109 soba, tri luksuzna apartmana, tri senior apartmana, tri restorana, banket salom, kongresnog centra sa sedam sala, spa centra sa bazenom i tri bezbedna parking prostora u krugu hotela. Tami resort predstavlja najveći hotelski kompleks u Nišu i jugoistočnom regionu Srbije [19].

Potreba za turističkim objektima koji mogu da odgovore na probleme vezane za dostupnost turističkih informacija i istovremeno igraju ulogu u promociji turizma i marketinškim aktivnostima turističke destinacije, zahteva prisustvo turističkog informativnog centra, koji nudi detaljnije informacije na destinaciji. Postojanje turističkog informativnog centra postaje bitno za turističku destinaciju, jer služi kao medijum za razmenu informacija između turista sa domaćinima i između turista, predstavlja uporedne podatke turističkih destinacija kako bi se video obim pozicioniranja turističke destinacije na lokalnom i regionalnom nivou, a služi i kao sredstvo odnosa s javnošću za predstavljanje turističke destinacije u nekom području sa potpunim i sveobuhvatnim informacijama kako bi se steklo potpuno razumevanje destinacije, a što može doprineti ubrzanom razvoju sektora turizma [20]. U gradu Nišu turistički informativni centri su „Tvrđava” i „Obrenovićevo” kao što je prikazano na Slici br. 5.

Predmet ovog rada je analiza turističkih vrednosti, objekata i njihovih potencijala na teritoriji grada Niša, primenom GIS metodologije. Cilj rada je da se utvrdi postojeće stanje turističkih potencijala, atrakcija i pratećih objekata, izvrši njihova analiza, identifikuju manje posjećene turističke atrakcije i definišu preporuke za unapređenje turističke ponude.

MATERIJAL I METODE

Danas se adekvatno upravljanje prostorom ne može zamisliti bez primene geografskih informacionih sistema [21]. Primena GIS-a je prisutna u oblastima koje se na bilo koji način bave prostorom, poput geonauka, geodezije, šumarstva, poljoprivrede, zaštite životne sredine, turizma, medicine i dr. GIS predstavlja moćan skup alata za prikupljanje, skladištenje, pretraživanje, transformaciju i prikaz geoprostornih podataka i sastoji se od hardvera, softvera, podataka i kadrova koji upravljaju GIS-om. Suština GIS-a je da prostorne podatke učini upotrebljivim, odnosno da od njih generiše informacije koje služe za donošenje odluka [21].

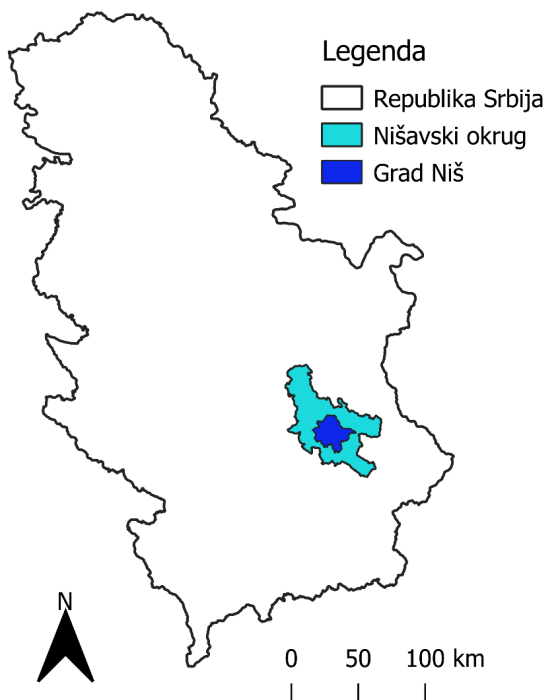
U turističkoj industriji, GIS se koristi da obezbedi: digitalnu bazu mapa za štampane mape, digitalne datoteke za internet i mobilno mapiranje, mapu atrakcija i veb stranicu sa interaktivnim mapiranjem. GIS tehnologija nudi velike mogućnosti za razvoj modernih aplikacija u turizmu koristeći mape, koja integriše uobičajene operacije baze podataka kao što je upit sa jedinstvenim prednostima vizualizacije i geografske analize koje nude mape. Integracija podataka o turizmu i GIS-u je danas veliki izazov za turističku industriju [22].

U radu su primenjeni deskriptivni, tekstualni, analitičko-sintetički, kartografski, komparativni, aplikativni i metod geoprostorne analize. Kao relevantan parametar prilikom kartiranja turističkih objekata, uzeti su pravci kretanja turista prilikom obilaska turističkih atrakcija i objekata.

U radu su kartografski prikazane i analizirane pojave i podaci rađeni u kompjuterskom programu QGIS 3.28 11. QGIS je GIS softver otvorenog koda (opensource) urađen u C++ programskom jeziku [21].

U ovom radu je u QGIS programu korišćena podloga Google Road. Pojave i objekti na karti prikazivani su u Gauss-Krigerovoj projekciji MGI Balkans zone (EPSG: 6316). Radi analiza, korišćena je mreža saobraćajnica na teritoriji grada Niša. Saobraćajnice na teritoriji Srbije su preuzete sa OpenStreetMap (OSM) platforme u vidu shapefile-a, jednostavnog netopološkog formata za čuvanje informacija o geometrijskoj lokaciji i atributima geografskih entiteta, koji u datoteci mogu biti predstavljeni u vidu tačaka, linija i/ili poligona [23]. Potom je uz pomoć algoritma Intersection izvršen prostorni presek svih saobraćajnica na teritoriji Srbije sa teritorijom Niša i kao rezultat je dobijen novi lejer koji sadrži saobraćajnice na teritoriji Niša. Algoritam Intersection u QGIS softveru se koristi da bi se izvršio prostorni presek svih podataka iz baze sa jasno definisanom teritorijom.

Za potrebe ovog rada, u QGIS-u su kreirane karte geografskog položaja grada Niša (Slika br. 1), saobraćajnica (Slika br. 2) turističkih vrednosti (Slika br. 3), info-centara (Slika br. 4) i smeštajnih objekata – hotela (Slika br. 5), kao i turističke rute kretanja turista uz



Slika br. 1. Geografski položaj grada Niša

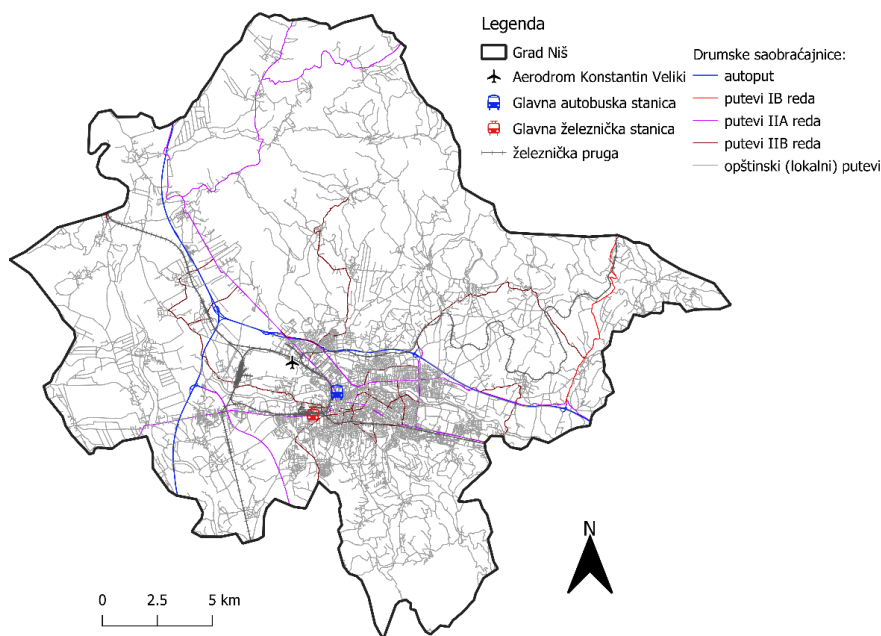
Izvor: autori

pomoć Google Maps-a, čiji je detaljniji prikaz u tabelama 1-4.

REZULTATI

Na Slici br. 1 je prikazan geografski položaj grada Niša u odnosu na teritoriju Nišavskog upravnog okruga i Srbije i može se reći da je izuzetno povoljan, s obzirom na već istaknutu činjenicu da se Niš nalazi na raskrsnici nacionalnih, balkanskih i evropskih putnih pravaca [1].

Raspored saobraćajnica i saobraćajnih punktova na teritoriji grada Niša prikazani su na Slici br. 2. Najveći udeo puteva čine opštinski (lokalni) putevi, zatim putevi IIA i IIB reda, auto-putevi E-75 i E-80 i putevi IB reda. Lokacije aerodroma „Konstantin Veliki” i glavne autobuske i železničke stanice su lako pristupačne i dobro povezane sa centrom grada Niša, što je od velike važnosti za kretanje turista od njih do centra grada i najznačajnijih turističkih atrakcija i smeštajnih objekata.

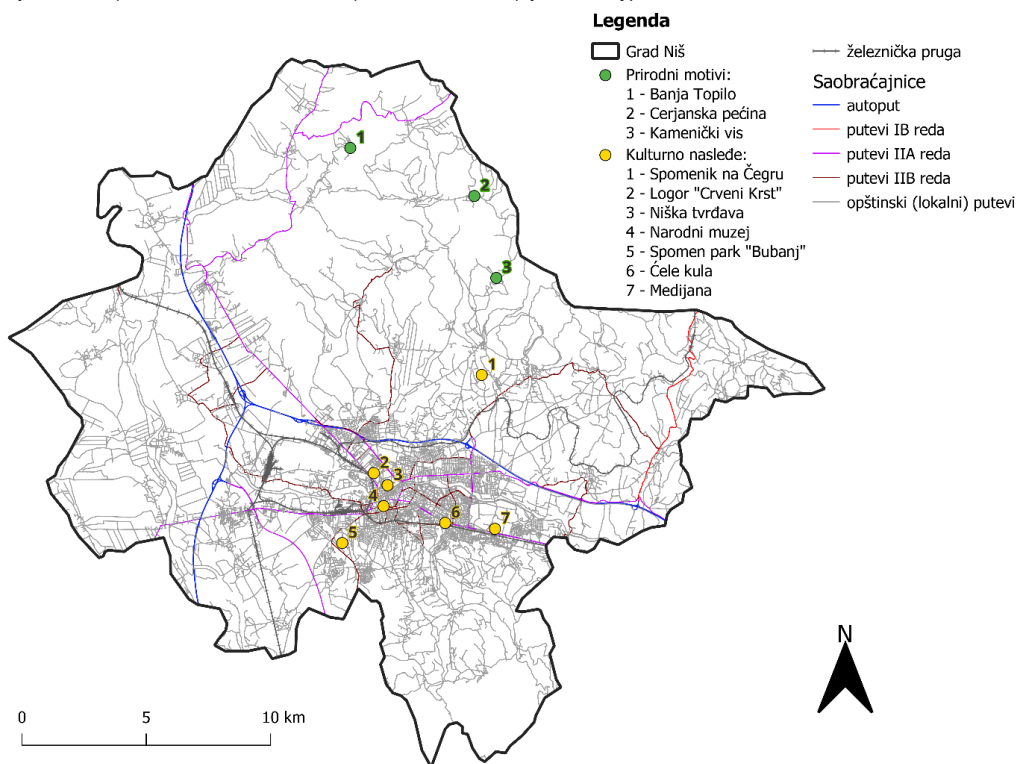


Slika br. 2. Saobraćajnice i saobraćajni punktovi na teritoriji grada Niša

Izvor: autori

Prikaz najznačajnijih prirodnih i kulturnih turističkih vrednosti grada Niša je na Slici br. 3. Na osnovu karte možemo videti da su prirodne atrakcije – Banja Topilo, Cerjanska pećina i Kamenički vis, kao i spomenik na Čegru na većoj udaljenosti od centra grada Niša. Spomen-park Bubanj, Čele-kula i Medijana su na manjoj udaljenosti od centra grada, a u najvećoj blizini centra su Niška tvrđava, Logor „Crveni krst” i Narodni muzej. Lokacije navedenih prirodnih atrakcija i spomenika na Čegru nam govore da se do njih može doći jedino sopstvenim prevozom ili peške, imajući u vidu da ne postoje konkretne linije javnog gradskog prevoza do ovih odredišta. Slabo je razvijena mreža puteva na njihovom prostoru, u poređenju sa ostalim kulturnim atrakcijama koje su na manjoj udaljenosti ili u samom centru grada i do kojih se može doći javnim ili sopstvenim prevozom i peške u

kratkom vremenskom intervalu. Najvažnije preporuke za poboljšanje pristupačnosti Banje Topilo, Cerjanske pećine i Kameničkog visa su izgradnja i modernizacija puteva, ulaganje u promociju navedenih atrakcija u turističkoj ponudi grada Niša.

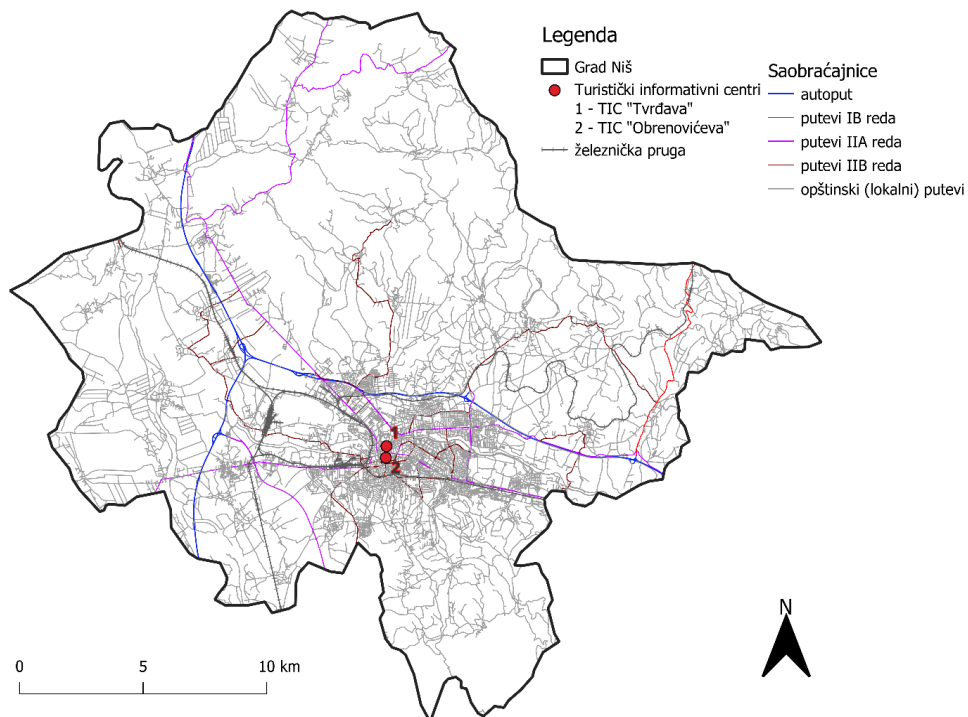


Slika br. 3. Turističke vrednosti na teritoriji grada Niša

Izvor: autori

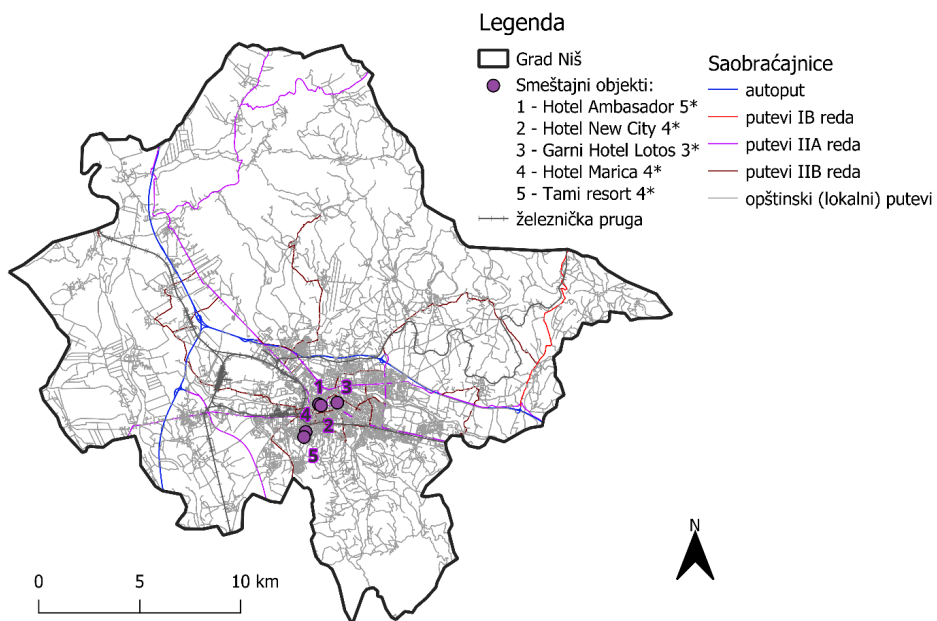
Na Slici br. 4 je dat prikaz lokacija turističkih informativnih centara „Tvrđava” i „Obrenovićeva”, koji su u samom centru grada Niša, u delu gde je najveći promet turista. Ovi centri su značajni za razvoj turizma grada Niša, gde turisti mogu dobiti detaljnije informacije o turističkoj ponudi, poseti najznačajnijim atrakcijama, istorijskom razvoju i drugim stvarima u vezi sa razvojem turizma grada Niša.

Slika br. 5 prikazuje lokaciju najznačajnijih hotelskih objekata grada Niša, koji se nalaze u samom ili blizini centra, do kojih je lako doći od aerodroma, autobuske i železničke stanice i dobra su polazna tačka za obilazak centra grada Niša i turističkih atrakcija.



Slika br. 4. Turistički informativni centri na teritoriji grada Niša

Izvor: autori



Slika br. 5. Smeštajni objekti na teritoriji grada Niša

Izvor: autori

Tabele br. 1-3 prikazuju rute kretanja turista od aerodroma, glavne autobuske i železničke stanice do centra grada i najznačajnijih hotela i vreme trajanja putovanja ako idu sopstvenim prevozom, javnim prevozom ili peške. Tabela br. 4 prikazuje rute kretanja turista i vreme koje je potrebno turistima da dođu od centra grada Niša do prirodnih i kulturnih turističkih vrednosti. Po tabelama se u koloni „Javni prevoz” može videti koje su to tačno autobuske linije koje turisti mogu da koriste da dođu do centra grada ili turističkih atrakcija.

Ruta	Sopstveni prevoz	Javni prevoz (linije prevoza)	Peške
aerodrom–Niš centar	9 min.	18 min. (34A; 34B + 3, 9)	1 h 3 min.
aerodrom–hotel Ambasador	11 min.	21 min. (34A; 34B, 34A + 3)	1 h 8 min.
aerodrom–hotel New City	10 min.	19 min. (34B, 34A + 3; 3; 34B; 34A)	1 h 6 min.
aerodrom–hotel Lotos	10 min.	29 min. (34B; 3; 34B + 3; 34A + 1, 4, 6, 10, 13)	1 h 19 min.
aerodrom–hotel Marica	14 min.	44 min. (34B, 34A + 9; 34B; 34A; 3, 34A + 12)	1 h 28 min.
aerodrom–Tami resort	15 min.	40 min. (34A + 12; 34B + 12; 34A, 34B + 9)	1 h 33 min.

Tabela br. 1. Rute od niškog aerodroma do centra i do smeštajnih objekata

Izvor: Google Maps

Ruta	Sopstveni prevoz	Javni prevoz (linije prevoza)	Peške
glavna autobuska stanica–Niš centar	3 min.	8 min. (9; 12; 34A)	12 min.
glavna autobuska stanica–hotel Ambasador	9 min.	13 min. (3)	15 min.
glavna autobuska stanica–hotel New City	6 min.	11 min. (3)	13 min.
glavna autobuska stanica–hotel Lotos	6 min.	22 min. (1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 13)	26 min.
glavna autobuska stanica–hotel Marica	10 min.	16 min. (12; 9)	38 min.
glavna autobuska stanica–Tami resort	10 min.	23 min. (1; 2; 4; 5; 6; 9; 12; 34A)	42 min.

Tabela br. 2. Rute od glavne autobuske stanice Niš do centra i do smeštajnih objekata

Izvor: Google Maps

Ruta	Sopstveni prevoz	Javni prevoz (linije prevoza)	Peške
glavna železnička stanica–Niš centar	5 min.	10 min. (5; 6; 10; 34B)	18 min.
glavna železnička stanica–hotel Ambasador	8 min.	14 min. (2; 4; 5; 6; 10)	29 min.
glavna železnička stanica–hotel New City	7 min.	12 min. (5; 6; 10)	27 min.
glavna železnička stanica–hotel Lotos	10 min.	19 min. (1; 2; 4; 5; 6; 10)	40 min.
glavna železnička stanica–hotel Marica	7 min.	25 min. (34A; 34B; 5; 6; 10; 1, 5, 6, 10 + 12)	26 min.
glavna železnička stanica–Tami resort	7 min.	25 min. (5; 6; 10; 34B)	27 min.

Tabela br. 3. Rute od glavne železničke stanice Niš do centra i do smeštajnih objekata

Izvor: Google Maps

Ruta	Sopstveni prevoz	Javni prevoz (linije prevoza)	Peške
Niš centar–Banja Topilo	34 min.	-	6 h
Niš centar–Cerjanska pećina	33 min.	-	4 h 42 min.
Niš centar–Kamenički vis	26 min.	-	3 h 31 min.
Niš centar–spomenik na Čegru	17 min.	-	1 h 59 min.
Niš centar–Logor Crveni Krst	6 min.	9 min. (9; 34B)	22 min.
Niš centar–Niška tvrđava	5 min.	6 min. (9; 12; 34B)	14 min.
Niš centar–Narodni muzej	3 min.	-	3 min.
Niš centar–Spomen park Bujanj	7 min.	25 min. (2; 4; 8)	40 min.
Niš centar–Čele kula	10 min.	20 min. (1; 4; 8; 10; 13)	39 min.
Niš centar–Medijana	11 min.	26 min. (1; 3; 2, 4, 5, 6, 10, 13 + 1, 3)	1 h 9 min.

Tabela br. 4. Rute od centra Niša i do prirodnih i kulturnih turističkih vrednosti

Izvor: Google Maps

Napomene vezana za kolone za javni gradski prevoz:

; se odnosi na nabranje svih mogućih linija u toj ruti,

, i + se koriste kada se u toj ruti kombinuju više linija prevoza.

DISKUSIJA

Analizirajući teritoriju grada Niša i njegovih turističkih potencijala i atrakcija primenom GIS metodologije, vidi se da Niš raspolaže turističkim atrakcijama koje su na pristupačnim lokacijama i onim koji su na većoj udaljenosti od centra, a preduzimanjem odgovarajućih mera i aktivnosti može da se poboljša njihova pristupačnost, a u prvom redu se misli na izgradnju novih i modernizaciju već postojećih saobraćajnica i povećanju promotivnih aktivnosti koje bi omogućile veći turistički promet na udaljenijim atrakcijama. Pored navedenog, jedna od mogućih mera je i uvođenje novih linija javnog gradskog prevoza koje bi povezale centar ili pojedine delove grada sa manje pristupačnim i udaljenijim turističkim vrednostima, a u ovom slučaju se misli na Banju Topilo, Cerjansku pećinu, Kamenički vis i spomenik na Čegru.

Najvažniji saobraćajni punktovi – glavna autobuska i železnička stanica, aerodrom „Konstantin Veliki” imaju pogodnu lokaciju na teritoriji grada Niša, odakle turisti mogu doći do centra, smeštaja i turističkih atrakcija prilikom obilaska. Analizirani turistički informativni centri i smeštajni objekti su u maloj međusobnoj udaljenosti, u centru ili blizini centra grada, što je takođe od velike važnosti prilikom planiranja obilaska grada i njegovih atrakcija.

Na osnovu Tabele br. 5 a koja se odnosi na ostvareni turistički promet grada Niša u 2023. godini [24], uočava se da je broj stranih turista i njihovih noćenja veći u odnosu na vrednosti koje ostvaruju domaći turisti. Turisti koji posećuju Niš uglavnom obilaze najznačajnije turističke vrednosti u samom centru ili njegovoj blizini upravo zbog lake pristupačnosti i dobre povezanosti sa najznačajnijim saobraćajnim čvorovima.

Turisti			Noćenja turista			Prosečan broj noćenja turista	
svega	domaći	strani	svega	domaći	strani	domaći	strani
156808	67700	89108	335350	156269	179081	2,3	2,0

Tabela br. 5. Turistički promet grada Niša u 2023. godini

Izvor: Републички завод за статистику ([Општине и региони у Републици Србији, 2024](#) ([stat.gov.rs](#)))

Suštinski rečeno, GIS metodologija može umnogome pomoći prilikom planiranja razvoja turizma konkretne destinacije. U prilog tome možemo spomenuti istraživanje koje su sprovele Jovanović i Njeguš [22], a odnosi se na studiju slučaja primene GIS metodologije u planiranju razvoja turizma planina Zlatibor i Zlatar u Srbiji, gde se jasno stavlja do znanja koliko je GIS jedan od važnijih alata i metoda u postupku strateškog planiranja razvoja turizma destinacije, uz pomoć kreiranja posebnih tematskih karata sa određenim lejerima (granice opština, saobraćajnice, reke, turističke atrakcije, smeštajni objekti, ski-staze i drugo).

ZAKLJUČCI

Kao jedan od najstarijih gradova na Balkanskom poluostrvu i treći grad u Srbiji po broju stanovnika, grad Niš je prirodni, društveni, privredni, obrazovni, zdravstveni, kulturni i sportski centar, ali i najznačajnija turistička destinacija jugoistočne Srbije, zbog svojih jedinstvenih prirodnih i kulturnih turističkih vrednosti koje posećuju stotine hiljada turista godišnje.

Karte formirane u programu QGIS i rute kretanja turista kreirane uz pomoć programa Google Maps za potrebe ovog rada jasno ukazuju na trenutno stanje turističkih vrednosti i potencijala u gradu Nišu. Potrebno je preduzeti konkretne mere i aktivnosti u smeru poboljšanja turističke ponude, a što se pre svega misli na modernizaciju saobraćajne infrastrukture, povećanje promocije i marketinga, poboljšanje pristupačnosti udaljenih atrakcija, a koje bi obeležile veći turistički promet nego ranije.

Istraživanje potvrđuje da GIS metodologija ima značajnu primenu u analizi turističkih potencijala i objekata i pruža efikasan instrument za kartografsku vizualizaciju turističkih vrednosti i kreiranje ruta turista, a rezultati istraživanja mogu doprineti daljem strateškom planiranju turizma u gradu Nišu.

LITERATURA

- [1] (2011): Стратегија развоја туризма града Ниша 2011–2016. Град Ниш.
- [2] Републички завод за статистику. ([ПОПИС 2022 - excel табеле | О ПОПИСУ СТАНОВНИШТВА \(stat.gov.rs\)](#), pristupljeno: 7. 9. 2025.)
- [3] Dinu, A. The importance of transportation to tourism development. In: Academic journal of economic studies, 2018, 4 (4), S. 183–187.
- [4] Просторни план Града Ниша. (2022): ЈП Завод за урбанизам, Ниш.
- [5] [Niš ekspres \(masnis.rs\)](#) (pristupljeno: 7. 9. 2025.)
- [6] [Glavna železnička stanica u Nišu - nekada puna života, sada pusta i zaboravljena \(juznevesti.com\)](#) (pristupljeno: 7. 9. 2025.)
- [7] [Aerodrom Niš Konstantin Veliki - Aerodrom Konstantin Veliki - eSky.rs](#) (pristupljeno: 7. 9. 2025.)
- [8] [Banja Topilo Dah Borova \(banjatopilodahborova.com\)](#) (pristupljeno: 7. 9. 2025.)
- [9] [Cerjanska pećina | Turistička organizacija grada Niša \(visitnis.org\)](#) (pristupljeno: 7. 9. 2025.)
- [10] [Kamenički vis | Turistička organizacija grada Niša \(visitnis.org\)](#) (pristupljeno: 7. 9. 2025.)
- [11] [Медијана - Народни музеј Ниш \(narodnimuzejnis.rs\)](#) (pristupljeno: 12. 9. 2025.)
- [12] [Čele Kula | Turistička organizacija grada Niša \(visitnis.org\)](#) (pristupljeno: 12. 9. 2025.)
- [13] [Memorijalni park Bubanj | Turistička organizacija grada Niša \(visitnis.org\)](#) (pristupljeno: 12. 9. 2025.)
- [14] Sharpley, R. The influence of the accommodation sector on tourism development: lessons from Cyprus. Hospitality Management, 2000, 19, 275–293.
- [15] [Hotel Ambasador | Hotel Ambasador \(ambasadorhotel.com\)](#) (pristupljeno: 13. 9. 2025.)
- [16] [New City Hotel & Restaurant - New hotel in centre of Niš \(newcityhotelnis.com\)](#) (pristupljeno: 13. 9. 2025.)
- [17] [Hotel Lotos Niš - komforan smeštaju Nišu \(hotellotos.rs\)](#) (pristupljeno: 13. 9. 2025.)
- [18] [Hotel Marica Niš - Sve što Vam je potrebno! \(hotel-marica.com\)](#) (pristupljeno: 13. 9. 2025.)
- [19] [Tami resort je kongresno hotelski kompleks u srcu Niša koji u svom sastavu nudi hotele Tami Residence sa Depandansom i Constantinus Palace. \(tamiresidence.com\)](#) (pristupljeno: 13. 9. 2025.)
- [20] Setiawan, A., Munandar, J.M., Sarma, M. The role of the tourist information center (TIC) of Soekarno Hatta Airport in the choice of tourist destinations based on tourist characteristics and services. Jurnal Aplikasi Manajemen, 2020, 18(4), 667-681, doi:10.21776/ub.jam.2020.018.04.06.
- [21] Новковић, И. (2022): ГИС анализа – практикум. Географски факултет, Универзитет у Београду, Београд.
- [22] Jovanović, V., Njeguš, A. The application of GIS and its components in tourism. Yugoslav Journal of Operations Research, 2018, 18, 261–272, doi: 10.2298/YUJOR0802261J.
- [23] [What is a shapefile?—ArcMap | Documentation \(arcgis.com\)](#) (pristupljeno: 14. 9. 2025.)
- [24] Републички завод за статистику. ([Општине и региони у Републици Србији, 2024 \(stat.gov.rs\)](#), pristupljeno 14. 9. 2025.)
- [25] [Насловна - Град Ниш \(ni.rs\)](#) (pristupljeno: 23. 10. 2025.)
- [26] [Gde odsesti | Turistička organizacija grada Niša \(visitnis.org\)](#) (pristupljeno: 23. 10. 2025.)

APPLICATION OF GIS IN THE ANALYSIS OF TOURISM POTENTIALS IN THE TERRITORY OF THE CITY OF NIŠ

Authors: MATIJA MILIĆ, Stojan Vučković

Email: jumpermaki@gmail.com

Mentor: Assoc. Prof. Ivan Novković

Faculty of Geography, University of Belgrade

Introduction: In this paper, the current state of tourist attractions (values), facilities, and their potential in the territory of the city of Niš is analyzed, as well as their projected potential state in case of undertaking measures and activities that would result in greater attractiveness of the city area of Niš. The introductory part of the paper deals with the presentation and description of chosen natural and cultural tourist values and accompanying facilities (traffic infrastructure, hotels, tourist information centers) in GIS software, which can provide a clear visual representation of tourist values.

Aim: The aim of this research is to use Geographic Information System (GIS) methods to analyze tourist attractions, facilities, and their potential within the territory of the city, identify spatial patterns, and visualize tourist resources, which can provide information on the accessibility of tourist assets and define recommendations for improving the tourist offer.

Materials and Methods: The analytical–synthetic, cartographic, and geospatial analysis methods were applied in the paper. As a relevant parameter in mapping tourist facilities, the directions of tourist movement during visits to attractions and sites were taken into account.

Results: The results of the research should give us an insight into the identification of less accessible attractions, the density of facilities, and spatial distribution, and the measures and activities that should be taken to improve the overall tourist offer of the city of Niš.

Conclusion: The research confirms that GIS methodology has significant application in the analysis of tourism potential and facilities and provides an effective tool for the cartographic visualization of tourist assets and the creation of tourist routes, while the research results can contribute to further strategic tourism planning in the city of Niš.

Keywords: GIS; tourist potentials; tourist attractions (values); tourist infrastructure; tourist objects; city of Niš

ANALIZA PRISTUPAČNOSTI ZDRAVSTVENIH USTANOVA NA TERITORIJI OPŠTINE BUJANOVAC

Autor: MIŠA STANKOVIĆ, Matija Milić

e-mail: misa.stankovic76@gmail.com

Mentor: prof. dr. Ivan Novković

Katedra za GIS

Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu

Uvod: Pristupačnost zdravstvenih ustanova predstavlja ključni indikator funkcionalnosti sistema javnog zdravlja, a njeno prostorno sagledavanje omogućava donošenje zasnovanih odluka u planiranju zdravstvene mreže. Opština Bujanovac, kao pogranična i pretežno ruralna teritorija na jugu Srbije, suočava se sa izraženim infrastrukturnim i demografskim izazovima koji mogu uticati na kvalitet i dostupnost zdravstvenih usluga.

Cilj: Cilj ovog istraživanja je da se, primenom metoda geografskih informacionih sistema (GIS), izvrši sveobuhvatna procena prostorne dostupnosti zdravstvenih ustanova na teritoriji opštine, identifikuju kritične zone sa otežanim pristupom i definišu preporuke za unapređenje prostorne pokrivenosti zdravstvenom zaštitom.

Materijal i metode: Metodološki okvir podrazumeva integraciju vektorskih i rasterskih podataka (administrativne granice, mreža naselja, putna infrastruktura, lokacije zdravstvenih objekata, demografski pokazatelji i digitalni model reljefa) i primenu metoda mrežne analize. Izrađene su zone vremenske dostupnosti (5, 10 i 15 minuta vožnje) od najbliže zdravstvene ustanove, uz analizu njihovog preklapanja sa prostornom raspodelom stanovništva.

Rezultati: Rezultati ukazuju na to da značajan broj naselja, naročito u brdsko-planinskim predelima, ostaje izvan optimalnih vremenskih zona pristupa. Na osnovu dobijenih nalaza, predložene su intervencije koje uključuju uspostavljanje dodatnih ambulanti, implementaciju mobilnih zdravstvenih timova i unapređenje saobraćajne povezanosti, čime bi se smanjile prostorne nejednakosti u pristupu zdravstvenoj zaštiti.

Zaključak: Istraživanje potvrđuje da GIS metodologija pruža pouzdan i efikasan instrument za kvantitativnu i vizuelnu procenu pristupačnosti, te da može značajno doprineti strateškom planiranju i optimizaciji zdravstvene mreže na lokalnom nivou.

Ključne reči: Bujanovac, zdravstvene ustanove, GIS, prostorna analiza.

UVOD

Zdravstvena zaštita predstavlja jedan od temeljnih segmenata društvenog razvoja i kvaliteta života stanovništva. Pristupačnost zdravstvenih ustanova uslovljava, ne samo dostupnost medicinskih usluga, već i efikasnost čitavog sistema javnog zdravlja. Prostorno sagledavanje ovog aspekta ima poseban značaj, jer omogućava donosiocima odluka da uoče prostorne nejednakosti i preduzmu mere u cilju njihovog ublažavanja [1].

Opština Bujanovac se nalazi u krajnjem južnom delu Republike Srbije, u okviru Vranjsko-Bujanovačke kotline, između područja Kosovskog (slivovi Binačke Morave i Crne Reke) i Južnog Pomoravlja (slivovi Moravice, Južne Morave i Pčinje). Prema važećem prostornom planu, opština obuhvata površinu od 461 km² i administrativno se sastoji od

59 naselja (59 katastarskih opština) grupisanih u 27 mesnih zajednica [2]. Međutim, važno je napomenuti da jedno od naselja, Negovac, više nema stalnih stanovnika, što praktično smanjuje broj naseljenih mesta na 58 [3].

Prema Popisu stanovništva iz 2022. godine, na teritoriji opštine je živelo 41.185 stanovnika [3]. Geografski položaj određen je koordinatama između 42°18' i 42°39' severne geografske širine i 21°38' i 21°57' istočne geografske dužine. Opština pripada Pčinjskom upravnom okrugu, zajedno sa gradom Vranjem i opštinama Preševo, Trgovište, Bosilegrad, Surdulica i Vladičin Han (Prilog br. 1). Na severu i severoistoku graniči se sa gradom Vranjem, na istoku sa opštinom Trgovište, na jugu sa Preševom, na severozapadu sa Kosovskom Kamenicom, na zapadu sa Gnjilanom, dok jugoistočnu granicu čini državna granica prema Severnoj Makedoniji (opština Kumanovo) (Slika br. 1) [2].

U Srbiji, problem ravnomerne dostupnosti zdravstvenih usluga naročito dolazi do izražaja u planinskim i pograničnim područjima. Opština Bujanovac suočava se sa složenim infrastrukturnim i demografskim izazovima, poput prostorne raspršenosti naselja, migracionih procesa i ograničene saobraćajne povezanosti. Ovi faktori doprinose formiranju zona sa otežanim pristupom zdravstvenoj zaštiti, što može imati dugoročne posledice po kvalitet života i socijalnu koheziju lokalnog stanovništva [2].

Savremene metodologije, zasnovane na upotrebi geografskih informacionih sistema (GIS), omogućavaju da se prostorna dostupnost zdravstvenih ustanova analizira na sveobuhvatan način. GIS alati pružaju mogućnost integracije prostornih podataka (saobraćajna infrastruktura, mreža naselja, lokacije zdravstvenih objekata) i demografskih pokazatelja, što omogućava izradu modela vremenske dostupnosti i identifikaciju kritičnih zona [4].

Prethodna istraživanja su pokazala različite primene GIS-a za mapiranje i analizu zdravstvene infrastrukture. Na primer, Kljajić i Jukić (2023) su u radu „Prostorna analiza zdravstvenih ustanova na području Grada Dubrovnika” koristili GIS za prikaz prostorne distribucije zdravstvenih službi i demografske strukture stanovništva i na osnovu toga izveli zaključak o neravnomernoj dostupnosti usluga [5]. Takođe, Segieri (2023) u radu „Inovativne primene metoda zasnovanih na GIS-u u planiranju zdravstvene zaštite i raspodele resursa” opisuje kako GIS može da optimizuje raspodelu resursa, planira lokacije zdravstvenih ustanova na osnovu populacionih i socijalnih podataka, kao i da služi u upravljanju hitnim situacijama i nadzoru bolesti [6]. Pored toga, Dulin i saradnici (2010) su koristili GIS za analizu potreba za primarnom zdravstvenom zaštitom u zajednici, kombinujući podatke kao što su: gustina stanovništva, socijalno-ekonomski status i korišćenje hitne službe, te su kreirali mape koje su pomogle da se identifikuju područja sa posebno visokim potrebama [7].

Cilj ovog istraživanja je da se, primenom metoda geografskih informacionih sistema (GIS), izvrši sveobuhvatna procena prostorne dostupnosti zdravstvenih ustanova na teritoriji opštine Bujanovac, identifikuju kritične zone sa otežanim pristupom i definišu preporuke za unapređenje prostorne pokrivenosti zdravstvenom zaštitom. Ovakav pristup omogućava da se prostorne nejednakosti uočavaju na sistematičan način i da se predlože mere koje mogu doprineti optimizaciji zdravstvene mreže, ne samo na lokalnom, već i na širem regionalnom nivou.

MATERIJAL I METODE

Metodološki okvir istraživanja zasniva se na integraciji vektorskih i rasterskih podataka i primeni metoda kartografske i geoprostorne analize u okruženju QGIS softvera. Kao polazni korak izvršeno je prikupljanje, standardizacija i integracija relevantnih prostornih i statističkih podataka, koji su potom analizirani kroz više faza obrade prostornih podataka.

Podaci o lokacijama zdravstvenih ustanova na teritoriji opštine Bujanovac pribavljeni

su kombinacijom terenskog uvida i dostupnih prostornih baza. U opštini funkcionišu tri zdravstvene stanice: u naseljima Veliki Trnovac, Klenike i Biljača, kao i šest zdravstvenih ambulanti: u naseljima Muhovac, Žbevac, Nesalce, Breznica, Ljiljance i Špančevac. Lokacije ovih objekata evidentirane su neposrednim uvidom na terenu, a zatim geokodirane i unete u GIS bazu podataka u vidu tačkastih objekata (shapefile format).

Pored toga, korišćene su administrativne granice opštine Bujanovac, mreža naselja i saobraćajna infrastruktura, preuzete sa nacionalnog geoportala GeoSrbija. Ovaj portal predstavlja nacionalnu platformu za pregled i preuzimanje geoinformacija, razvijenu u okviru Republičkog geodetskog zavoda i omogućava besplatan pristup velikom broju prostornih slojeva, uključujući katastarske planove, digitalne ortofoto snimke, administrativne granice, mrežu naselja i druge prostorne podatke značajne za prostorno planiranje i istraživanja [8]. Kao dodatni sloj korišćen je i digitalni model reljefa (DEM) rezolucije 30 m, koji omogućava sagledavanje uticaja orografskih karakteristika na prostornu dostupnost. Demografski podaci o broju stanovnika po naseljima preuzeti su iz Popisa stanovništva 2022, koji objavljuje Republički zavod za statistiku [3].

Analiza je sprovedena u okruženju softverskog paketa QGIS, koji predstavlja otvoren i besplatan GIS program razvijen u C++ programskom jeziku. Posebnu vrednost QGIS-a čini njegova modularna arhitektura, odnosno mogućnost proširivanja osnovnog paketa pomoću dodataka (plugins) razvijenih pretežno u Python i C++ jezicima, čime se funkcionalnost softvera značajno unapređuje. Pored toga, prednost QGIS-a ogleda se u tome što većina osnovnih operacija ne zahteva visok nivo hardverskih performansi, pa se može koristiti i na računarima slabije konfiguracije [9].

Korišćene metode obuhvatile su postupke kartografske vizuelizacije i geoprostorne analize. Ključna analiza sprovedena je kroz mrežnu analizu dostupnosti, kojom su izrađene zone vremenske dostupnosti od 5, 10 i 15 minuta vožnje od najbliže zdravstvene ustanove. U okviru ove analize uzeta je u obzir saobraćajna mreža opštine, dok je digitalni model reljefa omogućio procenu uticaja konfiguracije terena na realnu dostupnost. Dobijene vremenske zone potom su preklapljene sa prostornom raspodelom stanovništva, čime su identifikovana naselja i delovi opštine koji ostaju van optimalnog dometa zdravstvene mreže.

Izbor vremenskih bafera od 5, 10 i 15 minuta za analizu pristupačnosti primarnim zdravstvenim ustanovama zasnovan je na uobičajenoj praksi u literaturi i empirijskim istraživanjima. Studije su pokazale da GIS-modelovana vremena putovanja odstupaju od stvarno prijavljenih uglavnom u okviru od 5 do 15 minuta, pri čemu se čak 90 % slučajeva uklapa u 15-minutni prag, a ispitanici vreme često zaokružuju na intervale od 5 ili 10 minuta [10]. Time se opravdava izbor ovih pragova kao realnih pokazatelja pristupa. Pored toga, pragovi od 5, 10 i 15 minuta predstavljaju međunarodno priznate standarde u istraživanjima zdravstvene geografije, gde se pet minuta definiše kao optimalna dostupnost, deset minuta kao prihvatljiva u urbanim i poluurbanim sredinama, a petnaest minuta kao gornja granica zadovoljavajuće pristupačnosti u ruralnim područjima [11,12]. Upotreba ovih pragova omogućava jasno razlikovanje nivoa pristupa, praktičnu primenu u planiranju zdravstvene mreže, kao i uporedivost sa drugim istraživanjima sličnog tipa [13].

Za potrebe izrade vremenskih bafera u GIS analizi korišćena je prosečna brzina od 40 km/h. Ova vrednost odabrana je kao kompromis između realnih uslova saobraćaja u opštini Bujanovac, gde se mreža saobraćajnica sastoji od državnih puteva I i II reda, ali i lokalnih (opštinskih) i brdsko-planinskih saobraćajnica [14]. Dok je na državnim putevima moguće ostvariti brzine od 60–80 km/h, na seoskim i brdskim putevima prosečne brzine kretanja često ne prelaze 30 km/h [15]. Iz tog razloga, brzina od 40 km/h predstavlja metodološki prihvatljiv i realističan prosek koji omogućava izračunavanje vremenskih zona pristupačnosti. Ipak, potrebno je naglasiti da ovakav pristup ima ograničenja, jer ne uzima u obzir sezonske i vremenske faktore (npr. otežano kretanje tokom zime), niti varijacije

između različitih tipova saobraćajnica, što može dovesti do precenjivanja pristupačnosti u brdskim naseljima ili potcenjivanja u ravničarskim delovima opštine.

Rezultati analize predstavljeni su u obliku tematskih karata izrađenih u QGIS okruženju, koje ilustruju prostornu distribuciju zdravstvenih ustanova i zone njihove dostupnosti. Kartografska vizuelizacija omogućila je pregledno sagledavanje razlika u pristupu zdravstvenim uslugama između centralnih i perifernih naselja, sa posebnim naglaskom na brdsko-planinske oblasti u kojima je pristup otežan. Dobijeni kartografski prikazi i analitički rezultati predstavljaju osnovu za dalje razmatranje unapređenja mreže zdravstvene zaštite na lokalnom nivou.

REZULTATI

U cilju sagledavanja prostorne dostupnosti zdravstvenih ustanova, najpre je analizirana geografska i demografska raspodela naselja u opštini Bujanovac, kao osnovni okvir za dalje razumevanje rezultata mrežne analize. Populaciono najveća naselja opštine Bujanovac smeštena su u ravničarskoj zoni do 500 metara nadmorske visine, pre svega u dolini Južne Morave, po obodima Vranjske kotline i Preševske povije, kao i u dolini Kleničke (Krševičke) reke. U ovim povoljnim geografskim uslovima razvila su se centralna i najveća naselja – Bujanovac (11.468 stanovnika), Veliki Trnovac (7.894), Biljača (1.976), Končulj (1.227), Letovica (1.345), Rakovac (1.063) i Samoljica (1.027). Nasuprot tome, u brdsko-planinskoj zoni stanovništvo je znatno ređe, a samo Dobrosin (1.066) i Breznica (1.458) prelaze 1.000 stanovnika. U intervalu iznad 500 metara nadmorske visine izdvajaju se Muhovac (693) i Novo Selo (538) kao jedina naselja sa srednjom demografskom veličinom. Najveći broj patuljastih naselja, sa manje od 100 stanovnika, nalazi se u južnom delu opštine, na padinama i obroncima planina Rujan i Starac, što ukazuje na izrazitu depopulaciju i marginalizovan položaj ovih prostora (Tabela br. 1, Prilog 2 i 3) [16].

Zdravstvena stanica i zdravstvena ambulanta predstavljaju različite tipove organizacionih jedinica u okviru primarnog nivoa zdravstvene zaštite i razlikuju se po obimu delatnosti i teritorijalnim kriterijumima. Prema Uredbi o planu mreže zdravstvenih ustanova u Republici Srbiji, zdravstvena stanica se formira u naseljenom mestu ili više njih udaljenim najmanje 10 km od sedišta doma zdravlja i sa najmanje 5 000 stanovnika i obavezna je da obezbedi hitnu medicinsku pomoć, opštu medicinu i zaštitu dece i školske populacije. Nasuprot tome, zdravstvena ambulanta osniva se u manjim naseljenim mestima i pruža ograničen opseg delatnosti primarne zaštite, poput opšte medicine i dečje zaštite, prilagođeno broju korisnika i kadrovskim mogućnostima. Zdravstvene stanice lekari obilaze svakog radnog dana, a u ambulantama svraćaju jednom nedeljno [17].

Prostorna distribucija zdravstvenih stanica i ambulanti u velikoj meri prati veličinu naselja, saobraćajnu povezanost i nadmorsku visinu, što potvrđuje plansko pozicioniranje zdravstvenih objekata u cilju obezbeđivanja dostupnosti stanovništvu. Veliki Trnovac (7.894 stanovnika), severozapadno od Bujanovca, predstavlja jedno od ključnih lokalnih centara zdravstvene zaštite. Njegova povoljna saobraćajna povezanost, jer kroz naselje prolazi državni put IIB reda 445, doprinosi njegovoj dostupnosti. Zdravstvene stanice u Biljači (1.976 stanovnika), južno od Bujanovca, i u Klenikeu (150 stanovnika), jugoistočno, nalaze se u blizini državnih puteva (IIA reda 258 i 233), čime obezbeđuju zdravstvenu zaštitu južnim i jugoistočnim delovima opštine (Prilog 2 i 4).

Zdravstvene ambulante raspoređene su tako da pokrivaju naselja srednje veličine i perifernije zone. Ambulanta u Žbevcu (570 stanovnika), istočno od Bujanovca, i u Nesalcu (1.002 stanovnika), jugozapadno, služe kao dopuna centralnom domu zdravlja i pokrivaju neposredno gradsko zaleđe. Naselja u brdsko-planinskom području obezbeđena su ambulantama u Muhovcu (693 stanovnika, 640 m. n. v.), Breznici (1.458 stanovnika, 600

m n.v.) i Špančevcu (279 stanovnika, 520 m. n. v.), dok Ljiljance (440 stanovnika), svega nekoliko kilometara jugoistočno od Bujanovca, funkcioniše kao lokalni punkt zdravstvene zaštite za manja okolna naselja (Prilog 2 i 4).

Analiza pokazuje da mreža zdravstvenih stanica i ambulanti prati glavne saobraćajne pravce i prostornu distribuciju stanovništva. Najviši stepen koncentracije ustanova beleži se u ravničarskim i saobraćajno pristupačnim zonama, dok brdsko-planinska naselja zavise od manjih ambulanti sa ograničenim obimom usluga. Posebno je značajno da su Veliki Trnovac, Biljača, Klenike, Muhovac, Žbevac i Nesalce istovremeno i sedišta mesnih kancelarija, što dodatno potvrđuje njihov funkcionalni značaj za okolna naselja [16].

Metodom mrežne analize izvršena je kategorizacija naselja opštine Bujanovac prema vremenskoj udaljenosti od najbliže zdravstvene ustanove (dom zdravlja, zdravstvena stanica ili ambulanta). Kategorizacija je sprovedena korišćenjem standardnih vremenskih pragova koji se primenjuju u istraživanjima [18] dostupnosti zdravstvenih usluga – 5, 10 i 15 minuta vožnje – dok su naselja van 15-minutnog dometa izdvojena kao posebna grupa sa otežanim pristupom.

1. Naselja sa visokom dostupnošću (do 5 minuta)

Ova naselja se nalaze u neposrednoj blizini zdravstvenih ustanova, što znači da njihovi stanovnici imaju optimalan pristup primarnoj zdravstvenoj zaštiti. Vreme potrebno da se stigne do lekara omogućava brzo reagovanje u hitnim situacijama, redovno korišćenje preventivnih i rehabilitacione usluga i predstavlja najpovoljniji oblik prostorne pristupačnosti.

2. Naselja sa dobrom dostupnošću (5–10 minuta)

U ovu grupu spadaju naselja koja se nalaze u širem gravitacionom području zdravstvenih stanica i doma zdravlja. Stanovnici ovih naselja imaju prihvatljiv pristup zdravstvenim uslugama, a vreme putovanja je u skladu sa međunarodnim standardima za prostornu dostupnost primarnoj zaštiti u urbanim i poluurbanim sredinama.

3. Naselja sa zadovoljavajućom dostupnošću (10–15 minuta)

Naselja koja pripadaju ovoj kategoriji i dalje imaju mogućnost da u razumnom vremenskom roku dođu do zdravstvene ustanove, ali sa većim ograničenjima nego prethodne grupe. Ovaj vremenski prag predstavlja gornju granicu zadovoljavajuće dostupnosti, naročito u ruralnim područjima.

4. Naselja sa otežanom dostupnošću (preko 15 minuta)

Ovu kategoriju čine naselja koja se nalaze izvan 15-minutne zone pristupačnosti. Stanovnici ovih naselja suočavaju se sa značajnim poteškoćama u ostvarivanju prava na primarnu zdravstvenu zaštitu, što se ogleda u otežanom korišćenju osnovnih medicinskih usluga i povećanoj zavisnosti od mobilnih timova ili hitne pomoći. Ova naselja predstavljaju kritične zone u mreži zdravstvene zaštite opštine.

Rezultati mrežne analize pokazuju izražene prostorne razlike u dostupnosti zdravstvenih ustanova na teritoriji opštine Bujanovac. Tri naselja sa otežanom dostupnošću (Dobrosin, Novo Selo i Suharno) nalaze se u brdsko-planinskom severnom delu opštine, gde su uslovi reljefa i saobraćajna izolovanost ključni faktori otežanog pristupa. Sa izuzetkom naselja Vogance i Jablanica, koja se nalaze u izolovanim dolinama reke Pčinje, kao i Končulja na putu prema Kosovu i Metohiji, sva ostala ravničarska naselja imaju visoku

ili dobru dostupnost zdravstvenim ustanovama, što je posledica povoljnog geografskog položaja i razvijenije putne infrastrukture (Tabela br. 2 i prilog 5).

U planinskim naseljima situacija je složenija. Sa izuzetkom Spančevca, Muhovca i Breznice, naselja u kojima se nalaze zdravstvene ambulante, tek pojedina manja sela poput Kuštica, Pretine i Ravnog Bučja imaju visoku dostupnost, dok većina ostalih zavisi od udaljenijih zdravstvenih kapaciteta. U južnom delu opštine većina planinskih naselja pokazuje dobru dostupnost, dok Borovac i Rusce spadaju u kategoriju zadovoljavajuće dostupnosti (Tabela br. 2 i Prilog 5).

Podaci iz Tabele br. 3. jasno pokazuju disproporciju između površine teritorije i broja stanovnika obuhvaćenih pojedinim vremenskim zonama dostupnosti. Najveći deo teritorije opštine (41,64% površine) pripada zoni dobre dostupnosti (5–10 minuta), ali je u ovoj zoni relativno mali udeo stanovništva (svega 19%). Nasuprot tome, u zoni visoke dostupnosti (<5 minuta) obuhvaćeno je manje od trećine površine opštine (27,22%), ali u njoj živi čak 71% ukupnog stanovništva (29.356 stanovnika).

Ovakva prostorna raspodela potvrđuje ranije zaključke – najveća i demografski najznačajnija naselja smeštena su u ravničarskoj zoni oko Bujanovca i duž glavnih saobraćajnica, gde je koncentrisana zdravstvena mreža. Naselja u kategoriji zadovoljavajuće dostupnosti (10–15 minuta) obuhvataju 18,83% teritorije, ali u njima živi tek 5% stanovništva, dok su naselja sa otežanom dostupnošću (>15 minuta) prostorno značajna (12,31% teritorije), ali demografski marginalna (4% stanovništva).

Rezultati ukazuju da se najveći deo stanovništva nalazi u povoljnom položaju sa aspekta prostorne dostupnosti zdravstvenih ustanova, dok brdsko-planinski sever i izolovana sela u dolini Pčinje predstavljaju kritične zone, jer iako zauzimaju značajne površine, u njima živi mali broj ljudi koji je suočen sa otežanim pristupom zdravstvenim uslugama.

DISKUSIJA

Dobijeni rezultati ukazuju na jasnu prostornu neujednačenost u dostupnosti zdravstvenih ustanova na teritoriji opštine Bujanovac. Ravničarski deo opštine, posebno dolina Južne Morave, obodi Vranjske kotline i Preševske povije, pokazuje sistematski povoljniji položaj zahvaljujući koncentraciji većih i demografski značajnijih naselja, razvijenoj saobraćajnoj infrastrukturi i planskom pozicioniranju zdravstvenih stanica i ambulanti. U ovoj zoni, koja obuhvata manje od trećine teritorije opštine, živi više od dve trećine ukupnog stanovništva, što jasno potvrđuje neravnomernu raspodelu zdravstvenih resursa i korisnika. Nasuprot tome, brdsko-planinski prostori severnog i južnog dela opštine, iako zauzimaju značajne površine, imaju mali broj stanovnika i suočavaju se sa otežanom dostupnošću.

Posebno se izdvaja severni deo opštine, gde su tri naselja (Dobrosin, Novo Selo i Suharno) identifikovana kao kritične tačke mreže zdravstvene zaštite. U njima kombinacija reljefnih prepreka, saobraćajne izolovanosti i demografske stagnacije stvara trajne barijere u pristupu primarnoj zdravstvenoj zaštiti. Kao rešenje, preporučuje se otvaranje zdravstvene ambulante u Letovici, koja bi povećala dostupnost za Končulj i Dobrosin, naselja sa značajnim brojem stanovnika (preko 1000 stanovnika) i lošim indeksom pristupačnosti. Dodatno, otvaranje ambulante u Zarbincu, koja je već sedište mesne kancelarije za okolna naselja (Gornje Novo Selo, Pribovce i Suharno), doprinelo bi smanjenju prostorne izolovanosti i jačanju lokalnih funkcionalnih centara [16].

S druge strane, u južnom delu opštine situacija je povoljnija – većina planinskih naselja ima dobru dostupnost, dok Borovac i Rusce spadaju u kategoriju zadovoljavajuće. U ovom delu nije racionalno otvarati nove ambulante, jer bi one obuhvatale mali broj korisnika, a

ulaganja bi bila neproporcionalno visoka. Umesto toga, unapređenje dostupnosti moguće je ostvariti kroz poboljšanje putne infrastrukture, pre svega asfaltiranjem i rekonstrukcijom lokalnih puteva, što bi značajno smanjilo vreme putovanja i povećalo sigurnost kretanja, naročito za vreme zimskih meseci. Ovakav pristup posebno je važan imajući u vidu da većinu stanovništva u ovim naseljima čine starija domaćinstva, koja se teže prilagođavaju digitalnim rešenjima poput telemedicine [3]. Kao dopunska mera, preporučuje se organizovanje mobilnih lekarskih timova, koji bi periodično obilazili udaljenija sela i time obezbedili osnovne preventivne i kurativne usluge stanovnicima.

Sveukupno, za unapređenje mreže zdravstvene zaštite u opštini Bujanovac neophodno je primeniti diferencirani pristup – otvaranje novih ambulanti u severnim kritičnim zonama i uvođenje fleksibilnih oblika zdravstvene zaštite uz infrastrukturna poboljšanja u južnim planinskim selima. Na taj način mogu se smanjiti prostorne i socijalne nejednakosti, a zdravstvena zaštita učiniti dostupnijom i prilagođenijom realnim potrebama lokalnog stanovništva.

ZAKLJUČCI

Istraživanje prostorne dostupnosti zdravstvenih ustanova na teritoriji opštine Bujanovac pokazalo je izražene prostorne nejednakosti u pristupu primarnoj zdravstvenoj zaštiti. Analiza je sprovedena primenom GIS metoda, što je omogućilo izradu vremenskih zona dostupnosti (5, 10 i 15 minuta vožnje) i njihovo preklapanje sa demografskim pokazateljima, čime su jasno identifikovane povoljne i kritične zone zdravstvene mreže.

Rezultati ukazuju da najveći deo stanovništva živi u ravničarskom području, u kojem je dostupnost zdravstvenih usluga visoka zahvaljujući razvijenoj saobraćajnoj infrastrukturi i koncentraciji zdravstvenih stanica i ambulanti. Suprotno tome, brdsko-planinska i perifernija naselja suočavaju se sa otežanim pristupom, pri čemu su severni delovi opštine (Dobrosin, Novo Selo, Suharno i okolna sela) posebno problematični. Analiza je pokazala disproporciju između površine teritorije i broja stanovnika obuhvaćenih različitim vremenskim zonama – iako je više od 40% površine opštine u zoni dobre dostupnosti, u njoj živi tek petina stanovništva, dok gotovo tri četvrtine stanovnika gravitira ka zoni visoke dostupnosti koja obuhvata manje od trećine teritorije.

Na osnovu dobijenih rezultata, moguće je izdvojiti preporuke za unapređenje mreže zdravstvene zaštite. U severnom delu opštine, otvaranje novih ambulanti u Letovici i Zarbinci doprinelo bi boljoj pokrivenosti naselja sa trenutno otežanim pristupom. U južnom delu, gde nije racionalno otvarati nove objekte zbog demografske strukture i malog broja korisnika, prioritet treba dati infrastrukturnim merama – asfaltiranju i rekonstrukciji lokalnih puteva – kao i uvođenju mobilnih lekarskih timova. Takav diferencirani pristup omogućava racionalno planiranje resursa i prilagođavanje zdravstvenih usluga specifičnim potrebama lokalnog stanovništva, među kojima dominiraju starija domaćinstva.

Poseban značaj ovog rada ogleda se u činjenici da predstavlja prvu sveobuhvatnu GIS analizu prostorne dostupnosti zdravstvenih ustanova u jednoj opštini u Srbiji. Time se otvara novo polje istraživanja u okviru medicinske geografije i regionalnog planiranja, koje do sada nije bilo sistematski proučavano u domaćem kontekstu. Upravo taj pionirski karakter daje dodatnu vrednost istraživanju, jer pokazuje da se savremene GIS metode mogu uspešno primeniti u planiranju zdravstvene mreže i na nivou lokalnih zajednica.

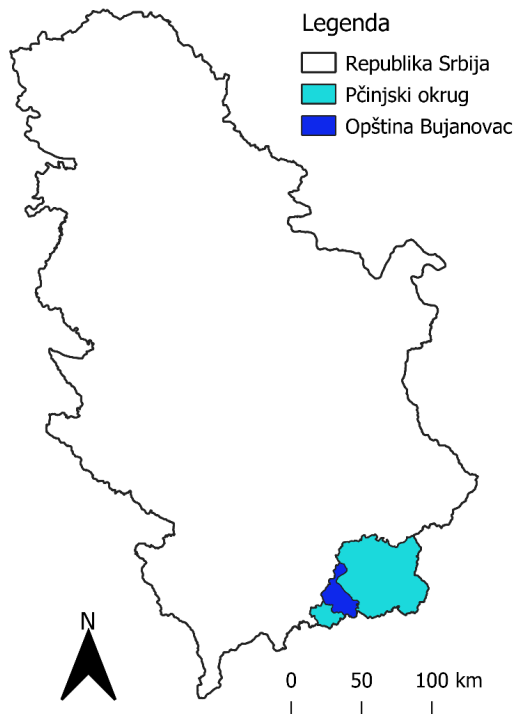
Primena GIS metoda u analizi dostupnosti pruža značajne mogućnosti za sagledavanje prostornih nejednakosti i definisanje ciljanih mera unapređenja. Dobijeni rezultati i preporuke imaju praktičan značaj za lokalno planiranje, ali istovremeno ukazuju i na širi problem ravnomerne dostupnosti zdravstvenih usluga u ruralnim i pograničnim

područjima Srbije. Sistematsko sagledavanje i optimizacija mreže zdravstvenih ustanova stoga predstavljaju neophodan korak ka smanjenju regionalnih dispariteta i unapređenju kvaliteta života stanovništva.

LITERATURA

- [1] Hashtarkhani S, Schwartz DL, Shaban-Nejad A. Enhancing Health Care Accessibility and Equity Through a Geoprocessing Toolbox for Spatial Accessibility Analysis: Development and Case Study. *JMIR Form Res.* 2024;8:e51727. doi:10.2196/51727
- [2] Jugoslovenski institut za arhitekturu i urbanizam. Prostorni plan opštine Bujanovac. Beograd: Jugoslovenski institut za arhitekturu i urbanizam; 2011.
- [3] Republički zavod za statistiku. Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 2022. Knjiga 2: Starost i pol. Beograd: Republički zavod za statistiku; 2023.
- [4] Valjarević A, Valjarević D, Stanojević-Ristić Z, Djekić T, Živić N. A geographical information systems-based approach to health facilities and urban traffic system in Belgrade, Serbia. *Geospat Health.* 2018 Nov 9;13(2):729. doi:10.4081/gh.2018.729
- [5] Kljajić I, Jukić M. Prostorna analiza zdravstvenih ustanova na području Grada Dubrovnika. *Geodetski list.* 2023;77(2):125–143.
- [6] Seghieri M. Innovative Applications of GIS-Based Methods in Healthcare Planning and Resource Allocation. *J Remote Sens GIS.* 2023;12(2):1000286.
- [7] Dulin MF, Ludden TM, Tapp H, Blackwell J, Urquieta de Hernandez B, Smith HA, Furuseth OJ. Using Geographic Information Systems (GIS) to Understand a Community's Primary Care Needs. *J Am Board Fam Med.* 2010;23(1):13–21.
- [8] GeoSrbija. Nacionalna infrastruktura geoprostornih podataka Republike Srbije [Internet]. Republički geodetski zavod; 2024 [pristupljeno 9. 9. 2025.]. Dostupno na: <https://geosrbija.rs/geosrbija-wp/>
- [9] QGIS Development Team. QGIS: A free and open source geographic information system [Internet]. QGIS.org; 2023 [pristupljeno 8. 9. 2025.]. Dostupno na: <https://qgis.org>
- [10] Haynes R, Jones AP, Sauerzapf V, Zhao H. Validation of travel times to hospital estimated by GIS. *Int J Health Geogr.* 2006;5:40.
- [11] Rietveld P. Non- parametric tests for rounding errors in travel time reporting. *J Transp Stat.* 2001;5(1):71–86.
- [12] Kamel B, Al Awadhi S, Al Blooshi A, et al. Fifteen-, Ten-, or Five Minute City? Walkability to Services Assessment: Case of Dubai, UAE. *Sustainability.* 2023;15(7):6379.
- [13] Ruiz-Aguirre S, Márquez M, Gutiérrez J. The X-Minute City: Analysing Accessibility to Essential Daily Destinations by Active Mobility in Seville. *Land.* 2024;13(2):295.
- [14] Uredba o kategorizaciji državnih puteva. „Službeni glasnik RS”, br. 87/2023, 24/2024, 90/2024 i 28/2025. Beograd: Republika Srbija; 2023–2025.
- [15] Cardelino C. Daily variability of motor vehicle emissions derived from traffic counter data. *J Air Waste Manag Assoc.* 1998;48(7):637–45. doi: 10.1080/10473289.1998.10463709.
- [16] Stamenković S. Geografska enciklopedija naselja Srbije: A–Đ. Tom 1. Beograd: Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet; 2001.
- [17] Uredba o Planu mreže zdravstvenih ustanova. *Službeni glasnik RS.* 2020;(5/2020, 11/2020, 52/2020, 88/2020, 62/2021, 69/2021, 74/2021, 95/2021).
- [18] Le KH, La TXP, Tykkyläinen M. Service quality and accessibility of healthcare facilities: digital healthcare potential in Ho Chi Minh City. *BMC Health Serv Res.* 2022;22:1374. doi:10.1186/s12913-022-08758-w.

PRILOZI



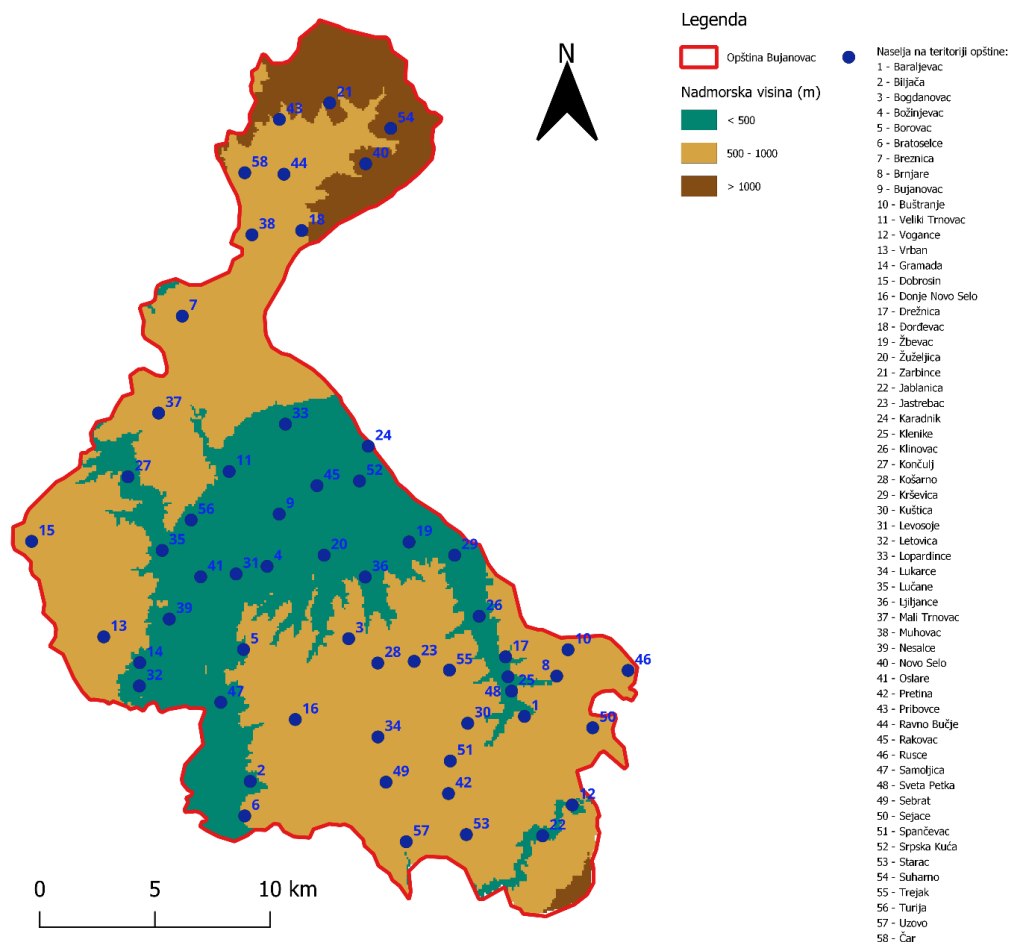
Prilog 1. Položaj opštine Bujanovac u okviru teritorije Republike Srbije i Pčinjskog okruga

Izvor: Autorov rad



Slika 1. Administrativne jedinice Pčinjskog okruga

Izvor: https://sh.wikipedia.org/wiki/P%C4%8Dinjski_okrug (Pristupljeno 13. 9. 2025.)



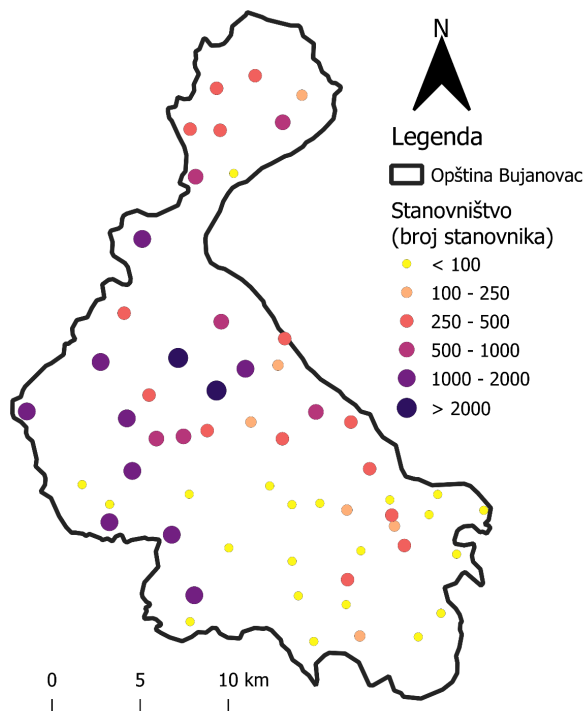
Prilog 2. Hipsometrija terena sa položajem naselja opštine Bujanovac
Izvor: Autorov rad

Redni broj	Naziv	Broj stanovnika
1	Baraljevac	311
2	Biljača	1976
3	Bogdanovac	33
4	Božinjevac	385
5	Borovac	42
6	Bratoselce	23
7	Breznica	1458
8	Brnjare	51
9	Bujanovac	11468
10	Buštranje	26
11	Veliki Trnovac	7894
12	Vogance	8
13	Vrban	69
14	Gramada	6
15	Dobrosin	1066
16	Donje Novo Selo	42
17	Drežnica	83
18	Đorđevac	3
19	Žbevc	570
20	Žuželjica	176
21	Zarbinci	450
22	Jablanica	81
23	Jastrebac	9
24	Karadnik	375
25	Klenike	150
26	Klinovac	405
27	Končulj	1227
28	Košarno	74
29	Krševica	409
30	Kuštica	81
31	Levosoe	746
32	Letovica	1345

Redni broj	Naziv	Broj stanovnika
33	Lopardince	691
34	Lukarce	5
35	Lučane	1074
36	Ljiljance	440
37	Mali Trnovac	251
38	Muhovac	693
39	Nesalce	1002
40	Novo Selo	538
41	Oslare	762
42	Pretina	18
43	Pribovce	370
44	Ravno Bučje	268
45	Rakovac	1063
46	Rusce	11
47	Samoljica	1027
48	Sveta Petka	288
49	Sebrat	37
50	Sejace	55
51	Spančevac	279
52	Srpska Kuća	201
53	Starac	106
54	Suharno	114
55	Trejak	159
56	Turija	392
57	Uzovo	3
58	Čar	296
	Ukupno	41185

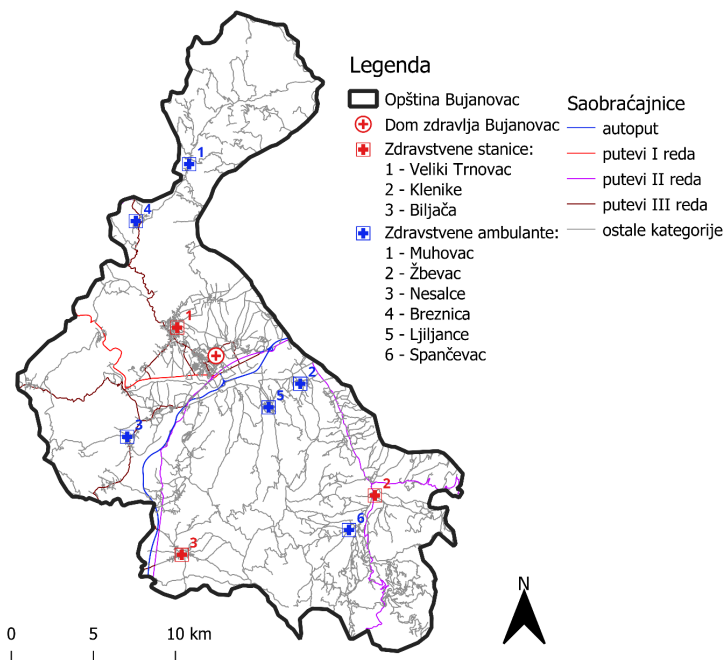
Tabela br. 1: Broj stanovnika po naseljima opštine Bujanovac

Izvor: Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 2022. Knjiga 2: Starost i pol
Republički zavod za statistiku



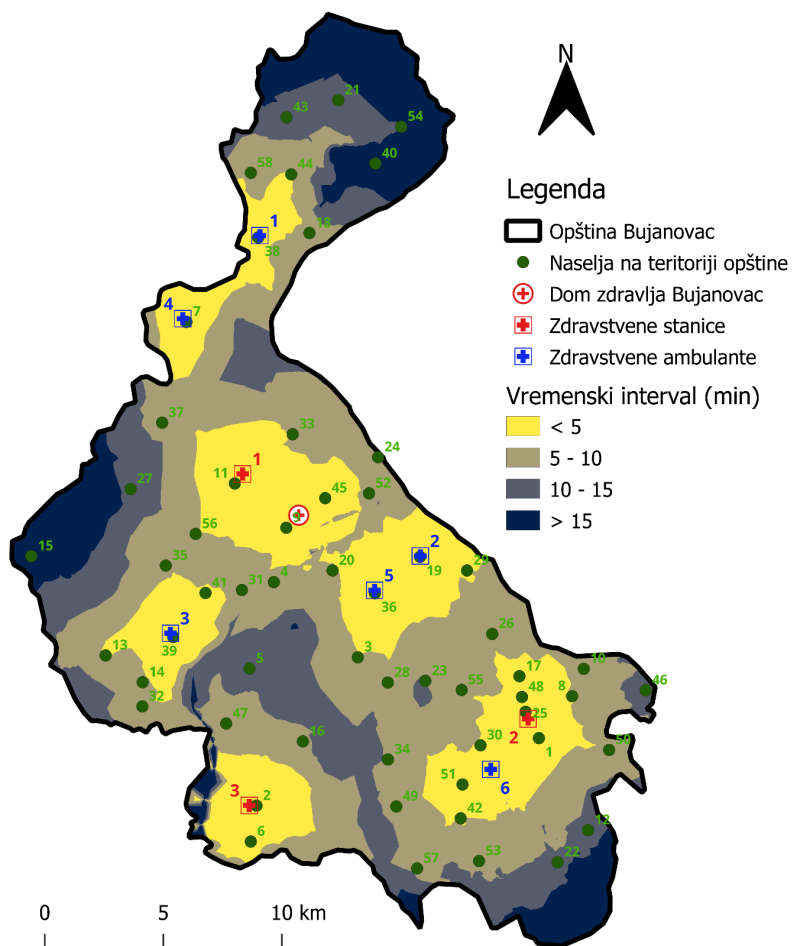
Prilog 3. Demografska veličina naselja opštine Bujanovac

Izvor: Autorov rad



Prilog 4. Zdravstvene ustanove i putna mreža opštine Bujanovac

Izvor: Autorov rad



Prilog 5. Kategorizacija naselja prema vremenskoj udaljenosti od ustanova primarne zdravstvene zaštite
Izvor: Rad autora

Redni broj	Naziv	Vremenski interval (min)	Kategorija
1	Baraljevac	< 5	visoka dostupnost
2	Biljača	< 5	visoka dostupnost
3	Bogdanovac	5–10	dobra dostupnost
4	Božinjevac	5–10	dobra dostupnost
5	Borovac	10–15	zadovoljavajuća dostupnost
6	Bratoselce	< 5	visoka dostupnost
7	Breznica	< 5	visoka dostupnost
8	Brnjare	< 5	visoka dostupnost
9	Bujanovac	< 5	visoka dostupnost
10	Buštranje	5–10	dobra dostupnost
11	Veliki Trnovac	< 5	visoka dostupnost
12	Vogance	10–15	zadovoljavajuća dostupnost
13	Vrban	< 5	visoka dostupnost
14	Gramada	5–10	dobra dostupnost
15	Dobrosin	> 15	otežana dostupnost
16	Donje Novo Selo	5–10	dobra dostupnost
17	Drežnica	< 5	visoka dostupnost
18	Đorđevac	5–10	dobra dostupnost
19	Žbevc	< 5	visoka dostupnost
20	Žuželjica	5–10	dobra dostupnost
21	Zarbince	10–15	zadovoljavajuća dostupnost
22	Jablanica	10–15	zadovoljavajuća dostupnost
23	Jastrebac	5–10	dobra dostupnost
24	Karadnik	5–10	dobra dostupnost
25	Klenike	< 5	visoka dostupnost
26	Klinovac	5 -- 10	dobra dostupnost
27	Končulj	10–15	zadovoljavajuća dostupnost
28	Košarno	5–10	dobra dostupnost
29	Krševica	< 5	visoka dostupnost
30	Kuštica	< 5	visoka dostupnost
31	Levosoe	5–10	dobra dostupnost
32	Letovica	5–10	dobra dostupnost
33	Lopardince	5–10	dobra dostupnost
34	Lukarce	5–10	dobra dostupnost
35	Lučane	5–10	dobra dostupnost
36	Ljiljance	< 5	visoka dostupnost
37	Mali Trnovac	5–10	dobra dostupnost
38	Muhovac	< 5	visoka dostupnost
39	Nesalce	< 5	visoka dostupnost
40	Novo Selo	> 15	otežana dostupnost
41	Oslare	< 5	visoka dostupnost
42	Pretina	< 5	visoka dostupnost
43	Pribovce	10–15	zadovoljavajuća dostupnost

44	Ravno Bučje	< 5	visoka dostupnost
45	Rakovac	< 5	visoka dostupnost
46	Rusce	10–15	zadovoljavajuća dostupnost
47	Samoljica	5–10	dobra dostupnost
48	Sveta Petka	< 5	visoka dostupnost
49	Sebrat	5–10	dobra dostupnost
50	Sejace	5–10	dobra dostupnost
51	Spančevac	< 5	visoka dostupnost
52	Srpska Kuća	5–10	dobra dostupnost
53	Starac	5–10	dobra dostupnost
54	Suharno	> 15	otežana dostupnost
55	Trejak	5–10	dobra dostupnost
56	Turija	5–10	dobra dostupnost
57	Uzovo	5–10	dobra dostupnost
58	Čar	5–10	dobra dostupnost

Tabela br. 2: Kategorizacija naselja opštine Bujanovac prema vremenskoj dostupnosti u odnosu na najbližu zdravstvenu ustanovu

Izvor: Rad autora

Vremenski interval (min)	Povrsina (km ²)	Procenat (km ²)	Broj stanovnika	Procenat br.st.
< 5	125.92	27.22	29356	0.71
5 -- 10	192.59	41.64	7922	0.19
10 -- 15	87.11	18.83	2189	0.05
> 15	56.89	12.31	1718	0.04

Tabela br. 3: Površina i broj stanovnika površina opštine Bujanovac kategorisanih prema vremenskim intervalima dostupnosti zdravstvenih ustanova

Izvor: Rad autora

ANALYSIS OF HEALTHCARE FACILITY ACCESSIBILITY IN THE MUNICIPALITY OF BUJANOVAC

Authors: MIŠA STANKOVIĆ, Matija Milić

Email: misa.stankovic76@gmail.com

Mentor: Assist. Prof. Ivan Novković

Faculty of Geography, University of Belgrade

Introduction: Accessibility of healthcare facilities is a key indicator of the functionality of the public health system, and its spatial assessment enables informed decision-making in planning the healthcare network. The municipality of Bujanovac, as a border and predominantly rural area in southern Serbia, faces significant infrastructural and demographic challenges that may affect the quality and availability of healthcare services.

Aim: The aim of this research is to conduct a comprehensive assessment of the spatial accessibility of healthcare facilities within the municipality using Geographic Information Systems (GIS) methods, to identify critical zones with limited access, and to define recommendations for improving spatial coverage of healthcare services.

Materials and Methods: The methodological framework involves the integration of vector and raster data (administrative boundaries, settlement networks, road infrastructure, locations of healthcare facilities, demographic indicators, and a digital elevation model) and the application of network analysis methods. Time accessibility zones (5, 10, and 15 minutes of driving distance) around the nearest healthcare facility were created, along with an analysis of their overlap with the spatial distribution of the population.

Results: The results indicate that a significant number of settlements, especially in hilly and mountainous areas, remain outside the optimal time accessibility zones. Based on the findings, interventions have been proposed, including the establishment of additional clinics, the deployment of mobile healthcare teams, and improvements to transportation connectivity, to reduce spatial inequalities in access to healthcare.

Conclusion: The study confirms that GIS methodology provides a reliable and efficient tool for quantitative and visual assessment of accessibility and can significantly contribute to strategic planning and the optimization of the healthcare network at the local level.

Keywords: Bujanovac; healthcare facilities; GIS; spatial analysis

PROSTORNA I VREMENSKA DISTRIBUCIJA POŽARA NA TERITORIJI OPŠTINE ALEKSINAC

Autor: MILAN MILETIĆ, Jovana Vuletić

e-mail: milanmiletic181@gmail.com

Mentor: vanredni prof. Mrđan Đokić

Departman za geografiju i turizam

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Nišu

Uvod: Požari na otvorenom prostoru predstavljaju veliki ekološki problem i najčešće nastaju kao posledica ljudskog nemara. Često su ograničenog obima i intenziteta, ali se mogu proširiti prouzrokujući ozbiljne posledice po prirodne ekosisteme i ugroziti živote ljudi i životinja. Opština Aleksinac se suočava sa sličnim izazovima, jer se na njenoj teritoriji često registruju požari na otvorenom prostoru.

Cilj: Namjera istraživanja je bila analiza prostorne i vremenske distribucije požara na otvorenom prostoru, kao i uočavanje obrazaca njihovog javljanja i prostornog grupisanja.

Materijal i metode: Podaci o požarima zabeleženi MODIS senzorima preuzeti su sa NASA-ine FIRMS platforme. Podskupovi istorijskih lokacija požara, registrovani u periodu od 1. januara 2001. do 9. jula 2025. godine, preuzeti su u formatu vektorskih fajlova. Prostorna i vremenska analiza sprovedene su u softverima QGIS i PAST.

Rezultati: Najveći broj registrovanih požara u jednoj godini zabeležen je 2007. godine, kada je ukupno registrovan 31 požar. Veliki broj požara je bio posledica male količine padavina i visokih temperatura vazduha. U periodima kada su srednje mesečne temperature vazduha bile niže, a mesečna količina padavina iznad višegodišnjeg proseka, broj požara je bio značajno manji. Prostornom analizom izdvojeno je 10 klastera, od kojih je pet locirano u dolini Južne Morave. Najveći broj požara registrovano je u Klasteru 4, koji je obuhvatao oblasti zapadno i severozapadno od Aleksinca, i koji se prostorno podudarao sa najintenzivnijom vrućom tačkom pojave požara.

Zaključak: Meteorološki uslovi imaju ključnu ulogu u nastanku i širenju požara na teritoriji opštine Aleksinac, dok su česti požari u oktobru i martu posledica povećane poljoprivredne aktivnosti. Nenavodnjavana obradiva zemljišta imaju najveći rizik od nastanka požara na otvorenom prostoru.

Ključne reči: MODIS, požari, prostorna analiza, vremenska analiza, vruće tačke.

UVOD

Požari na otvorenom prostoru predstavljaju kompleksan ekološki problem i najčešće nastaju kao posledica namernog spaljivanja poljoprivrednih ostataka, žbunaste vegetacije i invazivnih biljnih vrsta [1, 2, 3, 4, 5]. Iako su ovi požari često ograničenog obima i niskog intenziteta, oni se mogu proširiti, prouzrokujući ozbiljne posledice po prirodne ekosisteme i ugroziti živote ljudi i životinja [6]. Sagorevanjem biomase dolazi do emisije gasova staklene bašte, što direktno doprinosi globalnim klimatskim promenama. Istovremeno, oslobađanje čestica dima i gasovitih jedinjenja negativno utiče na kvalitet vazduha i dovodi do pogoršanja lokalnih mikroklimatskih uslova [7, 8, 9]. Proces spaljivanja biomase dovodi do gubitka površinskog sloja humusa, iscrpljivanja esencijalnih hranljivih materija

i fizičko-hemijskih promena zemljišta, što negativno utiče na regeneraciju vegetacije i produktivnost zemljišta [10]. Plodnost zemljišta i otpornost ekosistema se smanjuju, što dodatno ubrzava proces degradacije, povećava rizik od erozije i stvara pogodne uslove za širenje invazivnih biljnih vrsta [6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

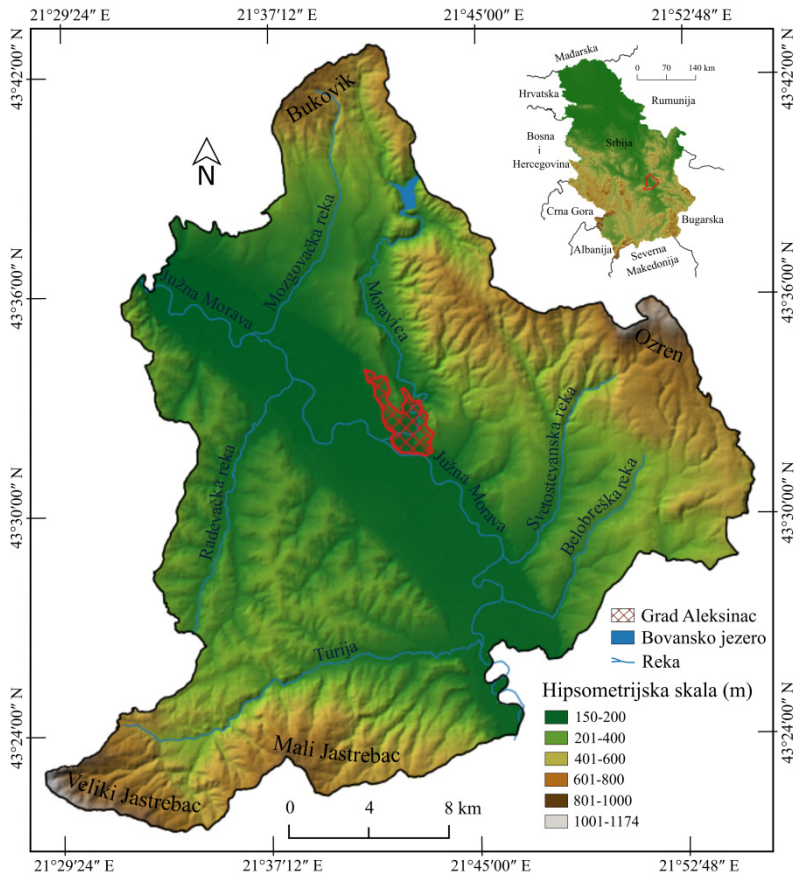
Klimatske promene, koje se manifestuju kroz ekstremne vremenske uslove kao što su visoke temperature vazduha, deficit padavina, niska relativna vlažnost vazduha, jaki vetrovi i učestale suše, značajno doprinose pojavi i širenju požara tokom letnjih meseci [6, 31, 32, 33]. Kombinacijom visokih temperatura vazduha, niske relativne vlažnosti vazduha i nedostatka padavina javlja se fiziološki stres biljaka, što dovodi do povećanog rizika od zapaljivosti i gorenja [34]. Pored toga, vetar ima ključnu ulogu u dinamici širenja požara, determinišući brzinu širenja, intenzitet plamena i verovatnoću nastanka novih žarišta [35]. Brojna istraživanja na globalnom i regionalnom nivou potvrdila su da suše, kao jedan od važnih faktora, iniciraju pojavu požara, smanjujući sadržaj vlage u vegetaciji i povećavajući rizik njihovog nastanka [36, 37, 38, 39, 40]. Najugroženiji regioni od pojave požara su zapadne oblasti Sjedinjenih Američki Država, jugoistočna Australija i južna Evropa (Mediteran). Ranjivost Mediterana na pojavu požara povezana je sa klimom regiona koju karakterišu kišne i blage zime, i duga topla i suva leta [41, 42, 43, 44]. Klimatske promene izražene kroz porast srednjih temperatura vazduha i smanjenje količine padavina krajem 20. i početkom 21. veka uslovile su povećanu učestalost požara na teritoriji Srbije. Najveći rizik od pojave požara zabeležen je tokom letnjih meseci, dok su sa aspekta prostorne distribucije najizloženije bile oblasti istočne i južne Srbije [45, 46, 47, 48].

Daljinska detekcija i geografski informacioni sistemi (GIS) imaju široku primenu u proučavanju požara na otvorenom prostoru [6]. Sa kontinuiranim tehnološkim napretkom, daljinska detekcija se razvila kao ključna metoda za posmatranje i analizu prostornih pojava, dok se njeni proizvodi široko primenjuju u prostornom i vremenskom praćenju požara i proceni njihovog uticaja u pogođenim oblastima [13, 20, 21]. Integracijom daljinske detekcije sa GIS tehnologijom, omogućeno je precizno otkrivanje aktivnih žarišta, mapiranje i prostorna analiza oblasti zahvaćenih požarima, kontinuirani monitoring dinamike požara, unapređeno upravljanje požarima i podrška donošenju odluka u kriznim situacijama. GIS omogućava procenu regeneracije vegetacije nakon požara, kao i identifikaciju najkraćih i najbezbednijih ruta za hitno reagovanje u vanrednim situacijama [13, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]. Satelitski sistemi visoke vremenske rezolucije, opremljeni optičkim multispektralnim senzorima koji funkcionišu u infracrvenom delu spektru kao što su MODIS, VIIRS i Sentinel-3, igraju ključnu ulogu u detekciji i praćenju požara [6, 29, 30]. Ovi sateliti omogućavaju identifikaciju aktivnih požara kao termalnih anomalija koje su lako uočljive sa velikih visina. Međutim, efikasnost satelitskog osmatranja može biti značajno umanjena usled prisustva oblaka, dima, atmosferske izmaglice, kao i u slučajevima kada su požari malih dimenzija, slabog intenziteta ili kratkog trajanja, što značajno ograničava efikasnost multispektralnih optičkih senzora u detekciji požara [6].

Ovo istraživanje analizira pojavu požara na otvorenom prostoru na teritoriji opštine Aleksinac korišćenjem satelitskih podataka zabeleženih MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) senzorima. Cilj istraživanja je razumevanje prostorne i vremenske distribucije požara na otvorenom prostoru, kao i uočavanje obrazaca njihovog javljanja i prostornog grupisanja. Rezultati istraživanja mogu doprineti razvoju strategija održivog upravljanja zemljištem i šumama, kao i unaprediti proces donošenja odluka na lokalnom, regionalnom i nacionalnom nivou, u cilju smanjenja rizika od pojave požara i unapređenja sistema njihovog monitoringa i kontrole.

MATERIJAL I METODE

Studija obuhvata teritoriju opštine Aleksinac koja se prostire između $43^{\circ} 27'$ i $43^{\circ} 44'$ severne geografske širine i $21^{\circ} 29'$ i $21^{\circ} 56'$ istočne geografske dužine. Opština sa površinom od 707 km^2 administrativno pripada Nišavskom upravnom okrugu [49]. Opštini pripadaju oblasti severno i severoistočno od Malog i Velikog Jastrepca, južno, jugoistočno i zapadno od Ozrena, južno od Bukovika. Značajan deo teritorije opštine obuhvata Aleksinačka kotlina, čijim dnom protiče reka Južna Morava i deli opštinu na dve geografske celine – severoistočnu i jugozapadnu. Najznačajnija desna pritoka Južne Morave na teritoriji opštine je Sokobanjska Moravica, dok se među ostalim važnijim desnim pritokama izdvajaju Belobreška, Svetostevanska i Mozgovačka reka. Najveća leva pritoka Južne Morave na teritoriji opštine je reka Turija, dok je Radevačka reka, koja se u Južnu Moravu uliva 4 km nizvodno od Aleksinca, druga po dužini leva pritoka na teritoriji opštine. Najviši tereni koji pripadaju opštini su na krajnjem severu, istoku, jugu i jugozapadu, dok su najniži u dolini Južne Morave (Slika br. 1).



Slika br. 1. Položaj opštine Aleksinac

Prema Kepenovoj klimatskoj klasifikaciji (Köppen Climate Classification – KCC) u Aleksinačkoj kotlini dominantnu ulogu ima Cfa varijanta umereno tople i vlažne klima sa toplim letom. Srednja mesečna temperatura vazduha najtoplijeg meseca je viša od 22°C , dok srednja mesečna temperatura vazduha najhladnijeg meseca ima vrednosti između

-3°C i 18°C. Dva maksimuma padavina su jasno izražena u kasno proleće i jesen [50].

U istraživanju su korišćeni satelitski podaci o požarima zabeleženi MODIS senzorima, dostupni putem NASA-ine FIRMS (Fire Information for Resource Management System) platforme [51]. Podskupovi istorijskih lokacija požara su preuzeti u formatu vektorskih fajlova, što je omogućilo prostornu analizu u GIS softveru. MODIS podaci omogućavaju detekciju aktivnih požara gotovo u realnom vremenu što ih čini izuzetno korisnim za potrebe monitoringa i analize požara na velikim geografskim prostranstvima [52]. Iz preuzetih skupova podataka izdvojeni su požari koji su registrovani na teritoriji opštine Aleksinac u periodu od 1. januara 2001. do 9. jula 2025. godine. Kako bi rezultati bili potpuniji korišćeni su podaci dva sloja podataka – VIIRS NRT (Near-Real Time) aktivni požari detektovani satelitom NOAA-21 (JPSS-2) prostorne rezolucije 375 m i arhivski MODIS standard-quality zapisi termalnih anomalija iz MODIS Collection 6.1 detektovani satelitima Terra i Aqua prostorne rezolucije do 1000 m.

Prostorna i vremenska analiza požara izvršene su korišćenjem GIS-a u softveru QGIS Desktop 3.34.13. GIS tehnologija omogućava integrisanu analizu prostornih pojava i procesa, čime doprinosi boljem razumevanju prostorne dinamike i unapređenju procesa donošenja odluka u sektorima poput saobraćaja, prostornog planiranja, šumarstva, administracije, poljoprivrede i zaštite životne sredine [53]. Ove tehnologije se zasnivaju na radu sa prostorno orijentisanim podacima i omogućavaju detaljno ispitivanje prostornog rasporeda, međusobnih odnosa i karakteristika geografskih objekata u okviru njihove prostorne okoline [54].

Za potrebe analize prostorne distribucije požara korišćen je softver za statističku obradu podataka PAST 4.09_32 (Paleontological Statistics), koji omogućava primenu širokog spektra statističkih procedura. Na osnovu geografskih koordinata požara, primenjena je klaster analiza u cilju identifikacije broj prostornih klastera (grupa) u okviru posmatrane teritorije. Klaster analiza predstavlja skup multivarijacionih tehnika koje se koriste za grupisanje objekata na osnovu njihovih međusobnih sličnosti. Objekti unutar istog klastera imaju međusobno slične karakteristike, dok se objekti iz različitih klastera međusobno razlikuju. Jedan od najvećih izazova u ovoj vrsti analize je određivanje optimalnog broja klastera, budući da ne postoji univerzalni statistički kriterijum koji bi precizno definisao taj broj. Preporuke istraživača sugerišu da se analiza prekida kad se uoči spajanje klastera koji su međusobno značajno udaljeni [55, 56]. Analiza je započeta pretpostavkom da postoji veći broj prostornih klastera. Korišćenjem opcije MULTIVAR/CLUSTER ANALYSIS određeni su klasteri na osnovu Euklidske distance (Euclidean method), primenom algoritma koji formira hijerarhijsku strukturu među objektima [55].

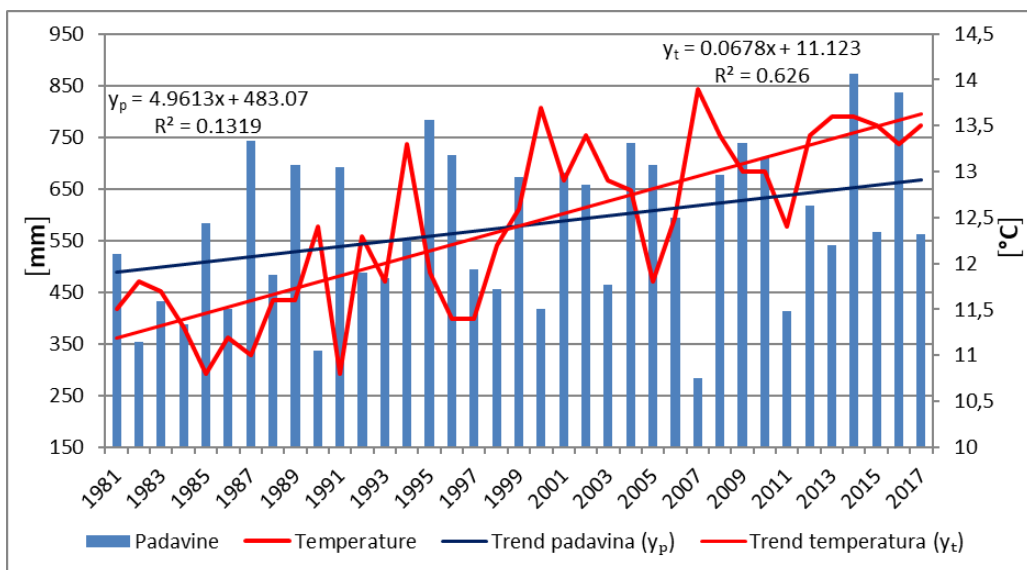
Podaci o temperaturi vazduha i količini padavina, kao ključnim klimatskim elementima, preuzeti su iz meteoroloških godišnjaka Republike Srbije za meteorološku stanicu Aleksinac, za period od 1981. do 2017. godine [57]. U analizi su korišćene srednje mesečne i godišnje vrednosti temperature vazduha, kao i srednje mesečne i godišnje vrednosti padavina. Jedno od ograničenja istraživanja predstavljao je nedostatak meteoroloških podataka nakon 2017. godine, usled prestanka rada meteorološke stanice u Aleksincu. Kako bi se preciznije sagledala zavisnost učestalosti požara od klimatskih uslova, posebno su izdvojeni i analizirani vremenski nizovi iz perioda od 2001. do 2017. godine, koji se podudaraju sa raspoloživim satelitskim zapisima o požarima.

Vegetacijske karakteristike opštine Aleksinac određene su na osnovu CORINE Land Cover baze podataka rezolucije 100 m [58], koju je izdala Evropska agencija za životnu sredinu (EEA – European Environmental Agency). U odabiru podataka bilo je neophodno preuzeti što uverljivije podatke, kako bi vegetacijske karakteristike teritorije istraživanja imale približno slične vrednosti sa početka i kraja perioda istraživanja. Zbog toga su najoptimalniji podaci bili iz 2012. godine, koja period istraživanja deli na dva približno jednaka perioda. Podaci su analizirani u QGIS softveru zajedno sa lokacijama požara registrovanih

na teritoriji opštine u periodu istraživanja. Kao rezultat analize izrađena je tematska karta koja prikazuje raspodelu tipova zemljišnog pokrivača i prostorni raspored požara, čime je omogućena jasnija vizuelna interpretacija i efikasnija prezentacija dobijenih rezultata.

REZULTATI I DISKUSIJA

Srednja godišnja temperatura vazduha u periodu od 1981. do 2017. godine na meteorološkoj stanici Aleksinac iznosila je 12,4°C. Najniža srednja godišnja temperatura vazduha u vrednosti od 10,8°C zabeležena je 1985. i 1991. godine. Najviša srednja godišnja temperatura vazduha u vrednosti od 13,9°C zabeležena je 2007. godine. Trend porasta srednje godišnje temperature vazduha je iznosio 0,068°C/god. U periodu od 2000. do 2017. godine bilo je ukupno 12 godina kada je srednja godišnja temperatura vazduha bila viša od 13°C, dok je u periodu od 1981. do 2000. godine samo 1994. godina imala srednju godišnju temperaturu vazduha višu od 13°C (Grafikon br. 1). Više srednje godišnje temperature vazduha potencijalno su povećavale rizik od pojave i širenja požara u periodu od 2001. godine do danas.



Grafikon br. 1. Srednje godišnje temperature vazduha i godišnje količine padavine zabeležene na meteorološkoj stanici Aleksinac (1981–2017)

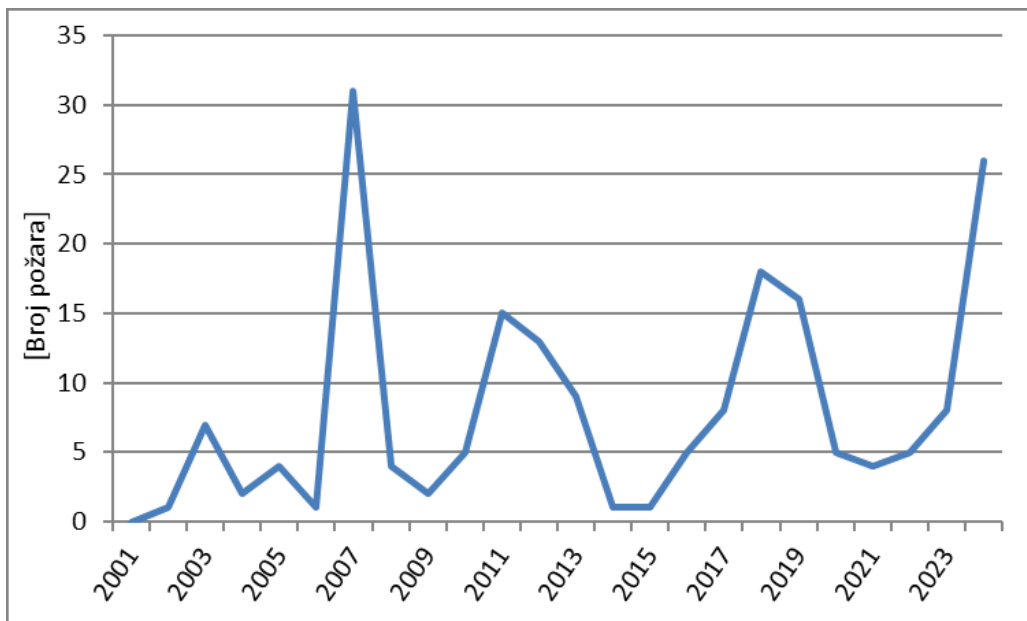
Januar je imao najnižu srednju mesečnu temperaturu vazduha u vrednosti od 1,1°C (1981–2017). Srednja mesečna temperatura vazduha tokom godine pravilno je rasla do jula i avgusta, nakon čega je opadala do decembra. Najvišu srednju mesečnu temperaturu vazduha u vrednosti od 22,9°C imali su jul i avgust. Srednja mesečna temperatura vazduha u oktobru je iznosila 12,8°C, što se ne poklapa sa velikim brojem registrovanih požara u tom periodu (Grafikon br. 1). Pretpostavka je da na veliki broj požara u oktobru dominantno utiče antropogeni faktor. Naime, u tom periodu godine poljoprivredno zemljište se priprema za jesenju setvu. Često se primenjuje praksa spaljivanja biljnih ostataka iz letnjeg perioda godine radi čišćenja njiva, što značajno povećava rizik od izbijanja požara. Za razliku od oktobra, jul karakterišu visoke srednje dnevne temperature vazduha koje doprinose povećanoj sušnosti zemljišta i vegetacije. Takvi uslovi pogoduju spontanom

samozapaljivanju suve trave i biljnih ostataka.

Srednja godišnja količina padavina u periodu od 1981. do 2017. godine je iznosila 577,3 mm. Trend promene srednje godišnje količine padavina je bio pozitivan i iznosio je 4,96 mm/god. Najniža godišnja količina padavina u vrednosti od 283,8 mm zabeležena je 2007. godine (Grafikon br. 1). Iste godine je zabeleženo najviše požara na godišnjem nivou što se poklapa sa najnižom količinom padavina i najvišim temperaturama vazduha u periodu istraživanja. Živanović i dr. [47] ističu da povećanje temperature vazduha i smanjenje padavina mogu uticati na brojnost i učestalost požara što je u skladu sa dobijenim rezultatima ovog istraživanja. Najviša godišnja količina padavina zabeležena je 2014. godine u vrednosti od 871,7 mm. Veća količina padavina u 2014. godini doprinela je smanjenju rizika od pojave požara, kada je zabeležen samo jedan požar u toku godine (Grafikon br. 1, Grafikon br. 2). Postoji verovatnoća da je značajno manja količina padavina od višegodišnjeg proseka u periodu od avgusta do novembra 2011. godine uticala na brojnost požara. U tom periodu godine registrovano je ukupno 13 požara iako su temperature vazduha bile oko proseka.

Srednja mesečna količina padavina u toku godine pravilno se povećavala do maja, pravilno opadala do avgusta, i pravilno se povećavala do decembra. Najniža srednja mesečna količina padavina zabeležena je u januaru u vrednosti od 39,1 mm, dok je najviša srednja mesečna količina padavina u vrednosti od 62,7 mm zabeležena u maju i poklapa se sa drugim hidrološkim maksimumom [61]. Prvi hidrološki maksimum padavina u vrednosti od 52,7 mm zabeležen je u decembru (Grafikon br. 1). On se poklapa sa prvim hidrološkim maksimumom padavina na većini stanica u Srbiji, kada se veća količina padavina javlja u novembru i decembru [61, 62].

Na teritoriji opštine Aleksinac, u periodu od 1. januara 2001. godine do 9. jula 2025. godine, registrovano je ukupno 216 požara na otvorenom prostoru. Najveći broj požara registrovan je u 2007. godini, kada je zabeležen ukupno 31 požar. Dobijeni rezultati se poklapaju sa rezultatima istraživanja Tošića i dr. [59] koji su utvrdili da je u istoj godini na teritoriji Srbije zabeleženo najviše požara na otvorenom prostoru u jednoj kalendarskoj godini. Druga godina po brojnosti požara bila je 2024. godina, kada je registrovano ukupno 26 požara. U 2002, 2006, 2014. i 2015. godini bio je registrovan samo po jedan požar, dok 2001. godine nije bilo požara. Analizom godišnje distribucije požara uočava se izvesna cikličnost njihove pojave. Broj požara se u periodu od 2001. do 2003. godine povećavao, tako da je 2003. godine bilo registrovano 7 požara. Nakon toga broj požara je opadao do 2006. godine, kada je zabeležen samo jedan. U 2007. godini broj požara je naglo porastao, dok se u naredne dve godine (2008. i 2009. godina) broj požara smanjivao. Zatim je usledio period kada se broj požara iz godine u godinu povećavao. U 2011. godini registrovano je ukupno 15 požara, dok je 2012. godine bilo ukupno 13 požara. Nakon toga, usledilo je smanjenje broja požara do 2014. i 2015. godine kada je registrovan po jedan požar godišnje. U periodu od 2016. do 2018. godine broj požara se povećavao. U 2018. godini registrovano je ukupno 18 požara, dok je sledeće 2019. godine bilo 16 požara. Od 2020. godine broj požara se smanjivao, dostižući minimum u 2021. godini, kada su registrovana četiri požara. Od 2022. godine do jula 2025. godine broj požara se konstantno povećavao. Broj požara registrovanih od 1. januara 2025. godine do 9. jula 2025. godine je bio 25, što je za jedan manje od broja požara zabeleženih tokom 2024. godine. Na osnovu tolikog broja požara, postoji velika verovatnoća da će broj požara u 2025. godini prevazići ne samo broj iz 2024. godine, već potencijalno dostići ili premašiti i rekordnu 2007. godinu (Grafikon br. 2).



Grafikon br. 2. Broj požara registrovanih na teritoriji opštine Aleksinac (2001–2024)

U analiziranom periodu samo u mesecu maju nije bilo registrovanih požara, što je posledica veće količine padavina. Maj je imao najveću srednju mesečnu količinu padavina i srednju mesečnu temperaturu vazduha značajno manju od juna i letnjih meseci. Veća količina vlage u zemljištu i vegetaciji u velikoj meri je smanjivala rizik od nastanka požara. Bez registrovanih požara bio je i jun u periodu od 2001. do 2024. godine. Međutim, u junu 2025. godine registrovana su dva požara, što predstavlja značajno odstupanje od višegodišnjeg proseka i ukazuje na moguće promene u obrascima pojave požara ili uslovima sredine. Januar je mesec u kome često nema registrovanih požara. U periodu od 2001. do 2024. godine samo je u januaru 2007. godine registrovan jedan požar. Najveći broj požara u februaru registrovan je 2024. godine, kada je bilo pet požara. Mart se ističe kao mesec sa prosečno 1,13 požara. Najveći broj registrovanih požara u martu zabeležen je 2012. godine, kada ih je bilo ukupno sedam. U martu 2012. godine je količina padavina bila značajno manja od proseka i iznosila 13,4 mm, dok je srednja mesečna temperatura bila viša od proseka i iznosila 8,5°C. Mesec u kome je registrovan najveći broj požara u periodu istraživanja bio je jul 2007. godine. Ukupno je bilo registrovano 28 požara, što se može povezati sa malom količinom padavina i visokim temperaturama vazduha. Ukupna količina padavina u julu 2007. godine je bila 8,2 mm, dok je srednja mesečna temperatura vazduha bila 26,2°C (Grafikon br. 1). Veliki broj požara u julu 2007. godine se može objasniti veoma dugim periodom u kome su srednje mesečne temperature vazduha bile iznad višegodišnjeg proseka, kao i količinom padavina koja je bila značajno niža od višegodišnjeg proseka u periodu od marta do jula iste godine. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima istraživanja Živanovića i Tošića [45], koji su uočili da se učestalost požara u Velikom Gradištu povećala u periodu 1991–2017. godine, i da su letnji meseci (jun, jul i avgust) bili meseci sa najvećim rizikom od pojave požara. Prosečno najveći broj požara imao je oktobar (2,42). U periodu od 2001. do 2024. godine, 12 puta je registrovan najmanje jedan požar u oktobru, što ga karakteriše kao mesec sa najčešćom pojavom požara (Tabela br. 1). Do sličnih rezultata došli su Gajović i Todorović [60], koji su u svom istraživanju požara na teritoriji Srbije uočili da se požari često javljaju u oktobru.

U prvoj polovini 2025. godine registrovan je značajan porast broja požara na otvore-

nom prostoru u poređenju sa višegodišnjim prosekom za period od 2001. do 2024. godine. Izuzetak predstavlja mesec maj, u kojem, u skladu sa dugoročnim trendom nije registrovan nijedan požar. U aprilu 2025. godine je registrovano sedam požara, dok je ukupan broj požara u aprilu u periodu 2001. do 2024. godine bio osam, što ukazuje na značajno odstupanje od uobičajenih obrazaca. Postoji mogućnost da je na značajno povećanje broja požara u aprilu 2025. godine uticala nepovoljna vremenska situacija, s obzirom na to da je praćenjem prilika na terenu uočeno da je period bio karakterisan izrazito toplim i suvim uslovima.

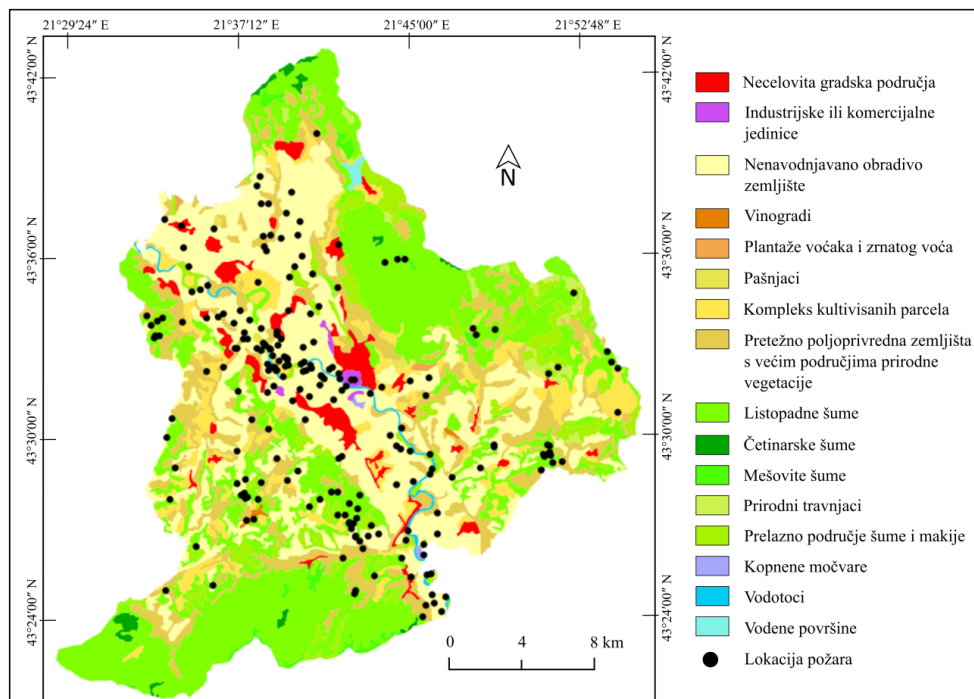
Tabela br. 1. Broj požara po mesecima i godinama (2001–2025) registrovanih na teritoriji opštine Aleksinac, kao i prosečne mesečne vrednosti i godišnji prosek (2001–2024)

Period	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2002	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
2003	-	-	6	-	-	-	-	1	-	-	-	-	7
2004	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	2
2005	-	-	-	2	-	-	-	1	-	1	-	-	4
2006	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2007	1	-	-	2	-	-	28	-	-	-	-	-	31
2008	-	1	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	4
2009	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	2
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	-	5
2011	-	-	2	-	-	-	-	1	6	5	1	-	15
2012	-	-	7	-	-	-	-	4	-	2	-	-	13
2013	-	-	-	-	-	-	3	6	-	-	-	-	9
2014	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-	5
2017	-	1	3	-	-	-	2	2	-	-	-	-	8
2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	5	-	18
2019	-	1	2	-	-	-	-	1	-	11	1	-	16
2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	5
2021	-	-	3	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4
2022	-	-	3	1	-	-	1	-	-	-	-	-	5
2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	2	8
2024	-	5	-	2	-	-	1	7	3	8	-	-	26
2025	1	4	7	7	-	2	4*	**	**	**	**	**	25*
Prosek 2001- 2024.	0,04	0,38	0,13	0,33	0	0	1,5	1	0,54	2,42	0,54	0,08	7,96

* - Broj požara koji je registrovan do 9. jula 2025. godine, do datuma preuzimanja MODIS podataka

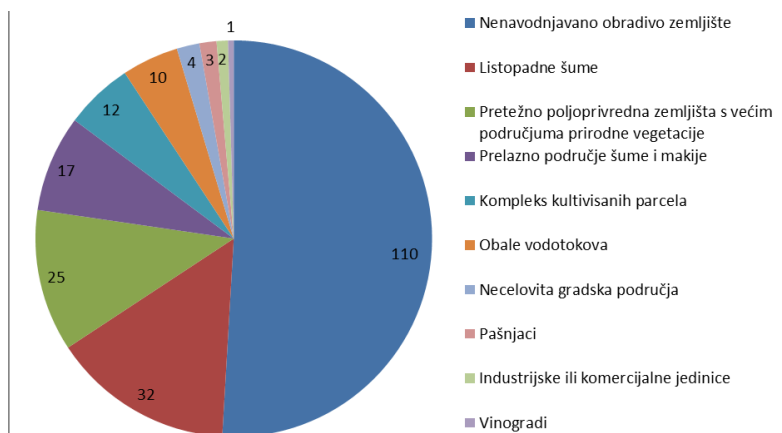
** - Period koji je usledio nakon preuzimanja MODIS podataka

Analizom prostornih podataka baze CORINE Land Cover za 2012. godinu u kombinaciji sa prostornim lokacijama požara, identifikovane su površine i tipovi zemljišnog pokrivača na kojima su požari registrovani (Slika br. 2). Najveći broj požara prostorno je registrovan na teritoriji nenavodnjavanog obradivog zemljišta, što se poklapa sa rezultatima istraživanja Gajovića i Todorovića [60]. U periodu istraživanja registrovano je 110 požara, što čini 50,93% ukupnog broja požara. Na teritoriji listopadnih šuma registrovana su ukupno 32 požara, odnosno 14,82% ukupnog broja registrovanih požara. Na pretežno poljoprivrednim zemljištima s većim područjima prirodne vegetacije registrovano je 25 požara, što predstavlja 11,57% ukupnih požara u periodu istraživanja (Slika br. 2, Grafikon br. 3).



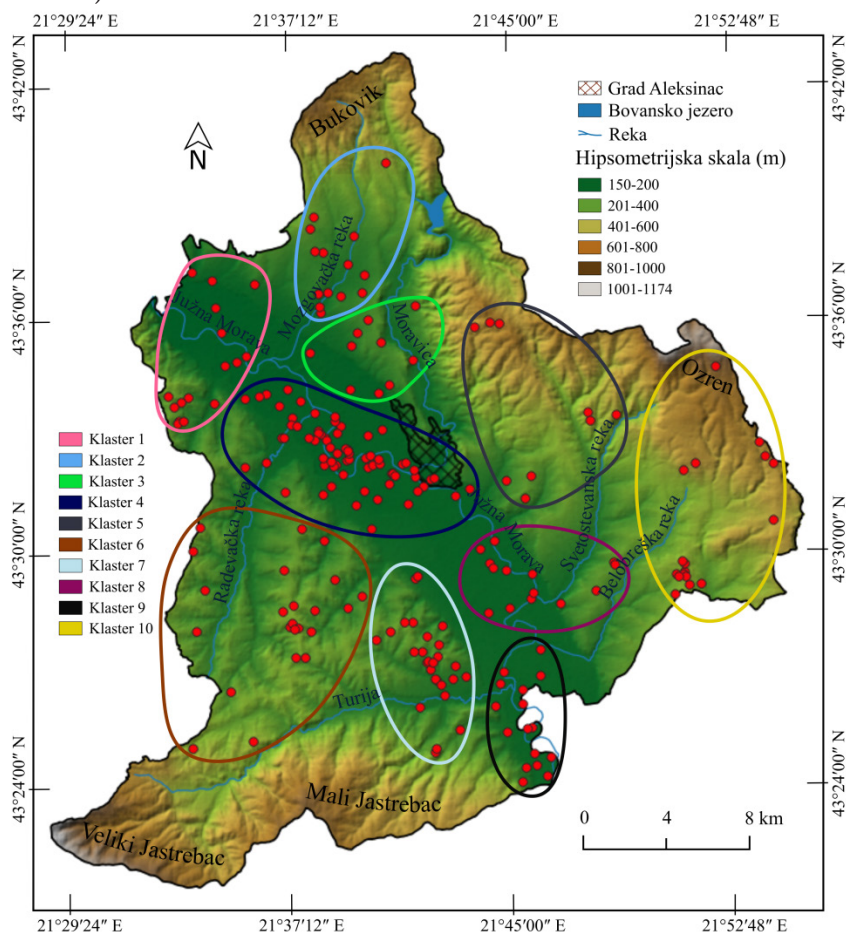
Slika br. 2. Tipovi zemljišnog pokrivača (CORINA Land Cover, 2012) i prostorna distribucija registrovanih požara na teritoriji opštine Aleksinac u periodu od 1. januara 2001. do 9. jula 2025. godine (MODIS)

Na prelaznom području šume i makije registrovano je 17 požara. Ukupno 12 požara je registrovano na kompleksu kultivisanih parcela, dok je 10 požara registrovano u neposrednoj blizini vodotokova, pre svega na obalama reka. Na periferiji urbanih i ruralnih naselja, kao i u njihovoj blizini registrovana su ukupno četiri požara, dok su dva požara registrovana u blizini industrijskih ili komercijalnih jedinica. Ukupno tri požara registrovana su na pašnjacima, dok je jedan požar registrovan na površini pod vinogradima (Grafikon br. 3). Na površinama ostalih tipova zemljišnog pokrivača koji se javljaju na teritoriji opštine Aleksinac nije bilo registrovanih požara u analiziranom periodu (Slika br. 2).



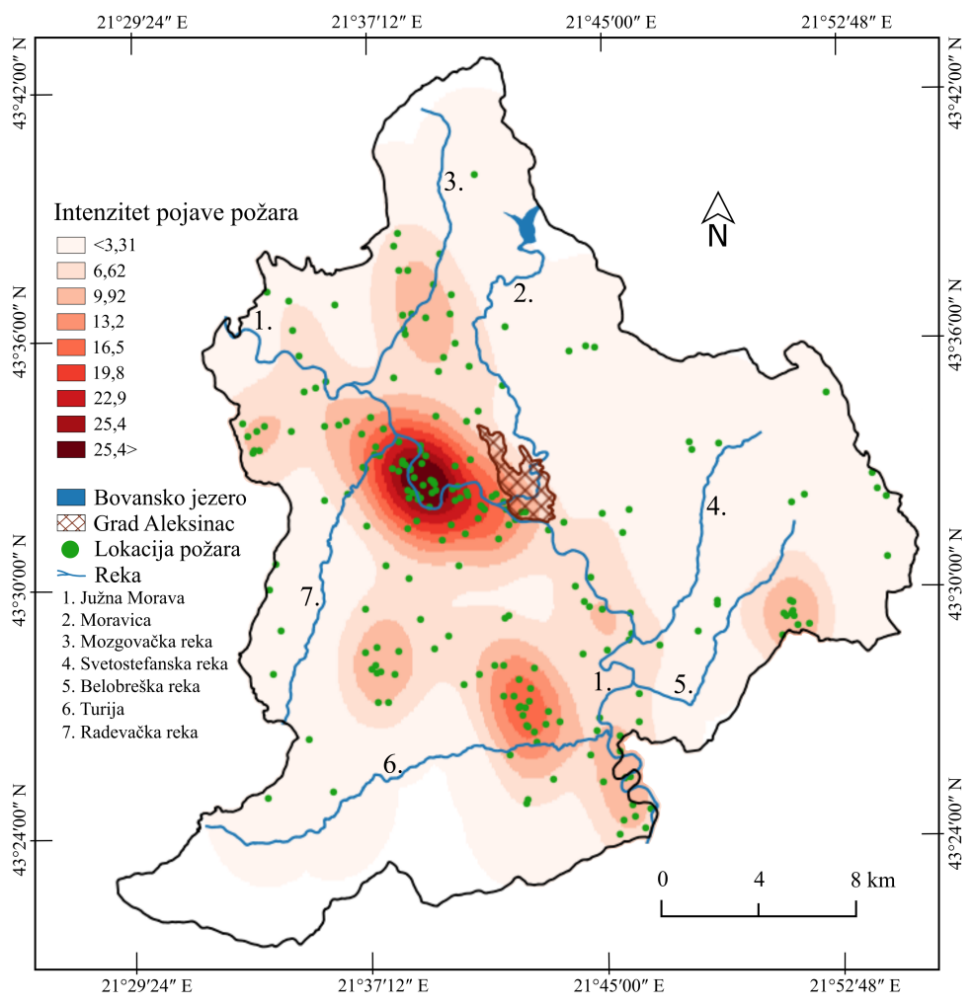
Grafikon br. 3. Broj registrovanih požara na različitim tipovima zemljišnog pokrivača (prema CORINA Land Cover bazi podataka iz 2012. godine)

Na Slici br. 3 prikazana je prostorna analiza lokacija požara, zasnovana na geografskoj širini i dužini, izvršena u softveru PAST, pri čemu je identifikovano 10 prostornih klastera. U dolini Južne Morave locirano je pet klastera (Klasteri 1, 3, 4, 8 i 9), u okviru kojih je registrovano ukupno 126 požara. Najveći broj registrovanih požara ima Klaster 4, sa ukupno 70 požara, što ga čini dominantnim žarištem na teritoriji opštine. Klaster 1, sa ukupno 16 registrovanih požara, teritorijalno obuhvata oblasti severozapadno od Klastera 4. Klaster 3, u kojem je registrovano 10 požara, obuhvata donji tok Sokobanjske Moravice, kao i desnu dolinsku stranu Južne Morave. Klaster 8, sa ukupno 14 registrovanih požara, obuhvata dolinu Južne Morave i donje tokove Svetostevanske i Belobreške reke. Dolinu Južne Morave i oblasti oko ušća Turije u Južnu Moravu obuhvata Klaster 9, sa ukupno 16 registrovanih požara. Klaster 2, najseverniji od svih klastera, obuhvata sliv Mozgovačke reke. U okviru klastera ukupno je registrovano 14 požara. Najistočnije oblasti opštine, južne padine Ozrena i gornji tok Belobreške reke pripadaju Klasteru 10, u kojem je registrovano ukupno 17 požara. U brodsko-planinskom terenu, istočno od Aleksinca, lociran je Klaster 5. U okviru klastera je registrovano ukupno devet požara koji su grupisani u tri podklastera sa po tri požara u svakom. Teritorijalno, najveću površinu obuhvata Klaster 6, sa ukupno 23 registrovanih požara. Klaster obuhvata gornji i srednji tok Radevačke reke, kao i gornji i srednji tok reke Turije. U donjem toku reke Turije lociran je Klaster 7, sa ukupno 27 registrovanih požara, od kojih su 23 registrovana na levoj dolinskoj strani reke (Slika br. 3).



Slika br. 3. Prostorna distribucija klastera dobijenih analizom u softveru PAST

Na Slici br. 4 prikazane su vruće tačke požara, odnosno oblasti sa povećanom učestalošću pojave požara na teritoriji opštine. Analizom je izdvojeno osam prostornih oblasti u kojima je broj požara značajno viši u odnosu na druge oblasti opštine. Najveća i najintenzivnija vruća tačka obuhvata oblasti zapadno i severozapadno od Aleksinca, dolinu Južne Morave i ušća Moravice i Radevačke reke u Južnu Moravu (Slika br. 4). Ova oblast prostorno se poklapa sa Klasterom 4, koji ima najveći broj registrovanih požara u analiziranom periodu. Centar vruće tačke, sa više od 26 požara, lociran je na desnoj i levoj obali Južne Morave i sferno se širi ka periferiji. Intenzitet vruće tačke ka periferiji opada jer se broj požara smanjuje (Slika br. 3, Slika br. 4). Prema Gajoviću i Todoroviću [60], požari se najčešće registruju u dolinama većih reka i na nadmorskim visinama nižim od 500 m, što se poklapa sa rezultatima ovog istraživanja, koje potvrđuje da je najveći broj požara zabeležen upravo u dolini Južne Morave. Druga vruća tačka po intenzitetu locirana je u donjem toku reke Turije, sa žarištem lociranim na levoj obali reke, koja se poklapa sa teritorijom Klastera 7 (Slika br. 3, Slika br. 4).



Slika br. 4. Lokacije požara prikazane vrućim tačkama (Intenzitet pojave požara prikazuje gustinu registrovanih požara na jediničnoj površini od 4 km²)

Preostalih 6 šest vrućih tačaka ima sličan intenzitet požara, ali se međusobno razlikuju po prostornoj veličini (Slika br. 4). Teritorijalno najveća od ovih tačaka locirana je u dolini Mozgovačke reke, i prostorno se poklapa sa Klasterom 2. Oblasti u dolini Južne Morave i ušća reke Turije u Južnu Moravu se izdvajaju kao vruća tačka, što se poklapa sa Klasterom 9. U dolini Južne Morave locirane su još dve vruće tačke. Prva obuhvata oblasti oko ušća Svetostevanske reke u Južnu Moravu, a druga oblasti na levoj dolinskoj strani Južne Morave, severozapadno od najintenzivnije vruće tačke. Jedna vruća tačka obuhvata oblasti između Radevačke reke i reke Turije, i teritorijalno se poklapa sa Klasterom 6. Na istoku opštine locirana je samo jedna vruća tačka, u gornjem toku Belobreške reke koja se teritorijalno poklapa sa Klasterom 10 (Slika br. 3, Slika br. 4).

Veliki broj registrovanih požara na poljoprivrednom zemljištu može se dovesti u vezu sa dominantnim uticajem antropogenih faktora. Može se pretpostaviti da je u većini slučajeva čovek direktan inicijator požara, dok duži periodi visokih temperatura, niske količine padavina i deficit vlage u zemljištu i vegetaciji doprinose njihovom brzom širenju. Najizraženija žarišta pojave požara prostorno se poklapaju sa oblastima intenzivne poljoprivredne proizvodnje i povećane ljudske aktivnosti tokom proleća, leta i jeseni. Primećeno je da su požari znatno ređi na višim terenima i padinama planina koji su izloženi minimalnom antropogenom aktivnošću. Na padinama Velikog i Malog Jastrepca, koje karakterišu gusti šumski ekosistemi, nije registrovana pojava požara, dok je na padinama Ozrena i Device zabeleženo nekoliko požara na otvorenim prostorima, što se takođe može dovesti u vezu sa antropogenim uticajem.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja ukazuju na to da meteorološki uslovi imaju ključnu ulogu u nastanku i širenju požara na teritoriji opštine Aleksinac. Najpovoljniji uslovi za pojavu požara na otvorenom prostoru su visoke temperature vazduha i mala količina padavina. Analizom vremenskog rasporeda požara utvrđeno je da se oni najčešće javljaju u oktobru (2,42 požara/god), julu (1,5 požara/god), martu (1,125 požara/god) i avgustu (1 požar/god). Povećana učestalost požara u oktobru i martu povezana je sa intenzivnim poljoprivrednim aktivnostima i pripremom zemljišta za setvu. U 2007. godini je zabeležen najveći broj požara, što se može dovesti u vezu sa izuzetno visokim srednjim mesečnim temperaturama vazduha, u kombinaciji sa izuzetno malom godišnjom količinom padavina. Uočeno je da količina padavina ima značajniji uticaj na pojavu požara od temperature vazduha, budući da visoke temperature same po sebi ne dovode do povećanog rizika ukoliko je količina padavina velika. Uticaj visokih temperatura na izbijanje požara naročito dolazi do izražaja u kombinaciji sa malom količinom padavina.

Prostornom analizom je utvrđeno da je više od polovine požara registrovano na nenavodnjavanom obradivom zemljištu u dolinama Južne Morave i njenih pritoka, dok je broj požara na obodu Aleksinačke kotline i u višim terenima bio značajno manji. Klaster analizom izdvojeno je ukupno 10 prostornih klastera, od kojih je polovina locirana u dolini Južne Morave, što potvrđuje njenu povećanu izloženost riziku od pojave požara. Klaster 4, lociran zapadno i jugozapadno od Aleksinca, izdvojio se kao najintenzivniji i po broju požara najveći klaster na teritoriji opštine. Izdvajanjem vrućih tačaka uočeno je osam oblasti ugroženih požarima. Najizraženija vruća tačka, čije se žarište nalazi na obalama Južne Morave, prostorno se poklapa sa Klasterom 4, potvrđujući njegov značaj u prostornoj distribuciji požara.

Iako rezultati istraživanja pružaju relevantne uvide u prostornu i vremensku distribuciju požara na teritoriji opštine Aleksinac, neophodno je ukazati na određena ograničenja

primenjene metodologije. Podaci korišćeni u analizi preuzeti su sa NASA-ine FIRMS platforme, koja se zasniva na detekciji termalnih anomalija putem satelitskih senzora. Ova tehnologija, iako veoma korisna za praćenje požara na velikim prostorima, podložna je određenim ograničenjima u pogledu prostorne rezolucije i vremenske učestalosti snimanja. Požari na malim površinama mogu ostati neregistrovani, naročito u slučajevima kada njihovo trajanje ili intenzitet nisu dovoljni da budu zabeleženi u vremenskom intervalu satelitskog snimanja ili da izazovu jasno izraženu termalnu emisiju prepoznatljivu senzorima. Preciznost lokacija detektovanih požara u izvesnoj meri zavisi od tehničkih karakteristika senzora i satelitske orbite, što je važno imati u vidu prilikom interpretacije prostornih obrazaca u GIS okruženju.

Praćenje klimatskih uslova u budućnosti može značajno doprineti uspešnom predviđanju i upravljanju rizicima od požara na otvorenom prostoru. Promene klimatskih elemenata, poput temperature vazduha i količine padavina, omogućavaju identifikaciju perioda i oblasti sa povećanom verovatnoćom izbijanja i širenja požara. Rezultati ovog istraživanja mogu poslužiti kao osnova za razumevanje prostorne i vremenske distribucije požara na teritoriji opštine Aleksinac, kao i model za razvijanje mera prevencije i upravljanja požarima, kako na teritoriji opštine, tako i na teritoriji drugih opština i regiona u Srbiji. Kombinacijom tehnologija daljinske detekcije i GIS-a omogućio bi se kontinuirani monitoring najugroženijih oblasti, kao i pravovremeno reagovanje u kriznim situacijama, uz institucionalno povezivanje na lokalnom, regionalnom i nacionalnom nivou.

U narednom periodu istraživanja će biti proširena na duži vremenski okvir, obuhvatajući godine i decenije koje slede, čime će se omogućiti sagledavanje dugoročnih trendova u dinamici požara. Posebna pažnja biće usmerena na povezivanje klimatskih parametara sa prostornim obrascima izbijanja požara. Na taj način moguće je steći potpuniji uvid u uzroke i posledice učestalosti požara, ali i razviti pouzdanije modele procene rizika i predikcije njihovog nastanka. Ovakav pristup doprinosi ne samo boljem razumevanju problematike, već i unapređenju mera prevencije i zaštite prirodnih resursa.

PRIZNANJA

Autori rada izražavaju posebnu zahvalnost Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije na pruženoj podršci kroz program stipendiranja (Broj ugovora: 451-03-1150/2023-03/3231; Aneksi ugovora: 451-03-1002/2024-03/3231, 451-03-12/2025-03/3231), kao i kroz ugovor o radu broj 451-03-137/2025-03/200124.

LITERATURA

- [1] Webb, J., Hutchings, N., Amon, B., Nielsen, O. K., Phillips, R., Dämmgen, U. Field Burning of Agricultural Residues, EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, 2013, 1–14.
- [2] Souza, M. E. B., Pacheco, A. P., Teixeira, J. G. Systematising Experts' Understanding of Traditional Burning in Portugal: A Mental Model Approach, *International Journal Wildland Fire*, 2023, 32, 1558–1575, doi: 10.1071/WF22141.
- [3] Santín, C., Doerr, S. H. Fire Effects on Soils: The Human Dimension, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2016, 371, 28–34, doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0171>.
- [4] Espinosa, J., Palheiro, P., Loureiro, C., Ascoli, D., Esposito, A., Fernandes, P. M. Fire-Severity Mitigation by Prescribed Burning Assessed from Fire-Treatment Encounters in Maritime Pine Stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 2019, 49 (2), 205–211, doi: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0263>.
- [5] Antunes, C. C., Viegas, D. X., Mendes, J. M., Em, M., Sociais, D., Naturais, R., et al. Avaliação Do Risco de Incêndio Florestal No Concelho de Arganil, *Silva Lusitana*, 2011, 19 (2), 165–179.
- [6] Oliveira, E. R., Silva, B. T., Lopes, D., Corticeiro, S., Alves, F. L., Disperati, L., et al. The Detection of Small-

- Scale Open-Burning Agriculture Fires Through Remote Sensing, *Remote Sensing*, 2024, 17 (1), 51, doi: <https://doi.org/10.3390/rs17010051>.
- [7] López-Caravaca, A., Vicente, E. D., Figueiredo, D., Evtyugina, M., Nicolás, J. F., Yubero, E., et al. Gaseous and Aerosol Emissions from Open Burning of Tree Pruning and Hedge Trimming Residues: Detailed Composition and Toxicity, *Atmospheric Environment*, 2024, 338, 120849, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120849>.
 - [8] Alves, C. A., Vicente, E. D., Evtyugina, M., Vicente, A., Pio, C., Amado, M. F., et al. Gaseous and Speciated Particulate Emissions from the Open Burning of Wastes from Tree Pruning, *Atmospheric Research*, 2019, 226, 110–121, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.04.014>.
 - [9] Gonçalves C., Evtyugina M., Alves C., Monteiro C., Pio C., Tomé M. Organic Particulate Emissions from Field Burning of Garden and Agriculture Residues, *Atmospheric Research*, 2011, 101, 666–680, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.017>.
 - [10] Pearson, P., Bodin, S., Gittelson, A., Kinney, S., McCarty, J. L., Stevenson, G., Albertengo, J. Fire in the Fields: Moving Beyond the Damage of Open Agricultural Burning on Communities, Soil, and the Cryosphere, A CCAC Project Summary Report: Impacts and Reduction of Open Burning in the Andes, Himalayas – and Globally, International Cryosphere Climate Initiative, Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Lived Climate Pollutants (CCAC): Paris, France, 2015.
 - [11] Parente, J., Girona-García, A., Lopes, A. R., Keizer, J. J., Vieira, D. C. S. Prediction, Validation, and Uncertainties of a Nation-Wide Post-Fire Soil Erosion Risk Assessment in Portugal, *Scientific Reports*, 2022, 12 (1), 2945, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07066-x>.
 - [12] Nunes, L. J. R., Raposo, M. A. M., Meireles, C. I. R., Gomes, C. J. P., Ribeiro, N. M. C. A. The Impact of Rural Fires on the Development of Invasive Species: Analysis of a Case Study with *Acacia dealbata* Link. in Casal Do Rei (Seia, Portugal), *Environment*, 2021, 8, 44, doi: <https://doi.org/10.3390/environments8050044>.
 - [13] Sabljčić, L., Perić, Z. M., Bajić, D., Marković, S. B., Adžić, D., Lukić, T. Advancing wildfire monitoring: remote sensing techniques and applications in the Sana River Basin, Bosnia and Herzegovina, *Natural Hazards*, 2025, 1–40, doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07518-3>.
 - [14] Fox, D. M., Maselli, F., Carrega, P. Using SPOT images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk, *Catena*, 2008, 75 (3), 326–335, doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.08.001>.
 - [15] Bowman, D. M., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., et al. Fire in the Earth system. *Science*, 2009, 324 (5926), 481–484, doi: [10.1126/science.1163886](https://doi.org/10.1126/science.1163886).
 - [16] Lee, R. J., Chow, T. E. Post-wildfire assessment of vegetation regeneration in Bastrop, Texas, using Landsat imagery. *GIScience & Remote Sensing*, 2015, 52 (5), 609–626, doi: <https://doi.org/10.1080/15481603.2015.1055451>.
 - [17] Lukić, T., Marić, P., Hrnjak, I., Gavrilov, M. B., Mladjan, D., Zorn, M., et al. Forest fire analysis and classification based on a Serbian case study. *Acta geographica Slovenica*, 2017, 57 (1), 51–63, doi: <https://doi.org/10.3986/AGS.918>.
 - [18] Vujović, F., Valjarević, A., Vila-Subirós, J., Šiljeg, A., Lukić, T. Geospatial modeling of wildfire susceptibility on a national scale in Montenegro: A comparative evaluation of F-AHP and FR methodologies, *Open Geosciences*, 2024, 16 (1), 20220694, doi: <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0694>.
 - [19] Durlević, U., Srejić, T., Valjarević, A., Aleksova, B., Dedanski, V., Vujović, F., et al. GIS-Based Spatial Modeling of Soil Erosion and Wildfire Susceptibility Using VIIRS and Sentinel-2 Data: A Case Study of Šar Mountains National Park, Serbia, *Forests*, 2025, 16 (3), 484, doi: <https://doi.org/10.3390/f16030484>.
 - [20] Li, X., Chen, W. Y., Sanesi, G., Laforteza, R. Remote sensing in urban forestry: recent applications and future directions, *Remote Sensing*, 2019, 11 (10), 1144, doi: <https://doi.org/10.3390/rs11101144>.
 - [21] Quintano, C., Fernández-Manso, A., Stein, A., Bijker, W. Estimation of area burned by forest fires in Mediterranean countries: A remote sensing data mining perspective, *Forest Ecology and Management*, 2011, 262 (8), 1597–1607, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.010>.
 - [22] Myroniuk, V., Zibtsev, S., Bogomolov, V., Soshenskyi, O., Gumeniuk, V., Vasylyshyn, R. A web-based platform LANDSCAPE FIRES: regional-level fire management information system for Northern Ukraine, *European Association of Geoscientists & Engineers (Geoinformatics)*, 2021, 2021 (1), 1–6, doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521113>.
 - [23] Fischer, C., Halle, W., Säuberlich, T., Frauenberger, O., Hartmann, M., Oertel, D., et al. Small satellite tools for high-resolution infrared fire monitoring, *Journal of Imaging*, 2022, 8 (2), 49, doi: <https://doi.org/10.3390/jimaging8020049>.

- [24] Rostami, A., Shah-Hosseini, R., Asgari, S., Zarei, A., Aghdami-Nia, M., Homayouni, S. Active fire detection from landsat-8 imagery using deep multiple kernel learning, *Remote Sensing*, 2022, 14 (4), 992, doi: <https://doi.org/10.3390/rs14040992>.
- [25] Pérez, C. C., Olthoff, A. E., Hernández-Trejo, H., Rullán-Silva, C. D. Evaluating the best spectral indices for burned areas in the tropical Pantanos de Centla Biosphere Reserve, Southeastern Mexico, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2022, 25, 100664, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100664>.
- [26] Seydi, S. T., Saeidi, V., Kalantar, B., Ueda, N., Halin, A. A. Fire-Net: A Deep Learning Framework for Active Forest Fire Detection, *Journal of Sensors*, 2022, 2022 (1), 8044390, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/8044390>.
- [27] Tout, F., Rebouh, N., Dinar, H., Benzid, Y., Zouak, Z. The contribution of roads to forest fire protection in Tamza Municipality, Northeast Algeria, *International Journal of Disaster Risk Management*, 2024, 6 (2), 39–50, doi: <https://doi.org/10.18485/ijdrm.2024.6.2.3>.
- [28] Martins, B., Pinheiro, C., Hermenegildo, C., Nunes, A., Bento-Gonçalves, A., Laranjeira, M. A multi-hazard map-based wildfires and gully erosion in a Mediterranean mountain environment, *Natural Hazards*, 2025, 1–23, doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07399-6>.
- [29] Matin, M. A., Chitale, V. S., Murthy, M. S., Uddin, K., Bajracharya, B., Pradhan, S. Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data, *International Journal of Wildland Fire*, 2017, 26 (4), 276–286, doi: <https://doi.org/10.1071/WFI6056>.
- [30] Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J. A comparison of remote sensing products and forest fire statistics for improving fire information in Mediterranean Europe, *European Journal of Remote Sensing*, 2015, 48 (1), 345–364, doi: <https://doi.org/10.5721/EuJRS20154820>.
- [31] Amraoui, M., Liberato, M. L., Calado, T. J., DaCamara, C. C., Coelho, L. P., Trigo, R. M., et al. Fire activity over Mediterranean Europe based on information from Meteosat-8, *Forest Ecology and Management*, 2013, 294, 62–75, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.08.032>.
- [32] Abram, N. J., Henley, B. J., Sen Gupta, A., Lippmann, T. J., Clarke, H., Dowdy, A. J., et al. Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia, *Communications Earth & Environment*, 2021, 2 (1), 8, doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00065-8>.
- [33] Canadell, J. G., Meyer, C. P., Cook, G. D., Dowdy, A., Briggs, P. R., Knauer, J., et al. Multi-decadal increase of forest burned area in Australia is linked to climate change, *Nature communications*, 2021, 12 (1), 6921, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27225-4>.
- [34] Abatzoglou, J. T., Williams, A. P., Boschetti, L., Zubkova, M., Kolden, C. A. Global patterns of inter-annual climate–fire relationships, *Global change biology*, 2018, 24 (11), 5164–5175, doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14405>.
- [35] Richardson, D., Black, A. S., Irving, D., Matear, R. J., Monselesan, D. P., Risbey, J. S., et al. Global increase in wildfire potential from compound fire weather and drought, *NPJ climate and atmospheric science*, 2022, 5 (1), 23, doi: <https://doi.org/10.1038/s41612-022-00248-4>.
- [36] Morton, D. C., Collatz, G. J., Wang, D., Randerson, J. T., Giglio, L., Chen, Y. Satellite-based assessment of climate controls on US burned area, *Biogeosciences*, 2013, 10 (1), 247–260, doi: <https://doi.org/10.5194/bg-10-247-2013>, 2013.
- [37] Littell, J. S., McKenzie, D., Wan, H. Y., Cushman, S. A. Climate change and future wildfire in the western United States: An ecological approach to nonstationarity, *Earth's Future*, 2018, 6 (8), 1097–1111, doi: <https://doi.org/10.1029/2018EF000878>.
- [38] Holden, Z. A., Swanson, A., Luce, C. H., Jolly, W. M., Maneta, M., Oyler, J. W., et al. Decreasing fire season precipitation increased recent western US forest wildfire activity, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115 (36), E8349–E8357, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1802316115>.
- [39] Zhao, F., Liu, Y. Important meteorological predictors for long-range wildfires in China, *Forest Ecology and Management*, 2021, 499, 119638, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119638>.
- [40] Yin, J., He, B., Fan, C., Chen, R., Zhang, H., Zhang, Y. Drought-related wildfire accounts for one-third of the forest wildfires in subtropical China, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2024, 346, 109893, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.109893>.
- [41] Darques, R. Wildfires at a Pan-Mediterranean scale: Human-environment dynamics through MODIS data, *Human ecology*, 2016, 44 (1), 47–63, doi: <https://doi.org/10.1007/s10745-015-9802-9>.
- [42] Tedim, F., Leone, V., Lovreglio, R., Xanthopoulos, G., Chas-Amil, M. L., Ganteaume, A., et al. Forest fire causes and motivations in the southern and South-Eastern Europe through experts' perception and

- applications to current policies, *Forests*, 2022, 13 (4), 562, doi: <https://doi.org/10.3390/f13040562>.
- [43] Xu, Z., Shan, W., Guo, Y., Zhang, C., Qiu, L. Swamp wetlands in degraded permafrost areas release large amounts of methane and may promote wildfires through friction electrification, *Sustainability*, 2022, 14 (15), 9193, doi: <https://doi.org/10.3390/su14159193>.
- [44] Zagalikis, G. Remote sensing and GIS applications in wildfires, *Geographic Information Systems-Data Science Approach*, 2023, doi: 10.5772/intechopen.111616.
- [45] Živanović, S., Tošić, I. Influence of Climatic Conditions on Fire Risk in Djerdap National Park (Serbia): A Case Study of September 2011, *Thermal Science*, 2020, 24, 2845–2855, doi: <https://doi.org/10.2298/TSCI190905094Z>.
- [46] Živanović, S. Impact of drought in Serbia on fire vulnerability of forests, *International Journal Bioautomation*, 2017, 21 (2), 217.
- [47] Živanović, S., Ivanović, R., Nikolić, M., Đokić, M., Tošić, I. Influence of air temperature and precipitation on the risk of forest fires in Serbia, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2020, 132 (6), 869–883, doi: <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00725-6>.
- [48] Marković, S. M., Nikolić, M. B., Zlatković, K. B., Nikolić, S. D., Rakonjac, B. L., Stankov-Jovanović, P. V., et al. Short-term patterns in the post-fire diversity of limestone grasslands and rocky ground vegetation, *Applied Ecology & Environmental Research*, 2018, 16 (3).
- [49] Statistički godišnjak (2024): Opštine i regioni u Republici Srbiji. Republički zavod za statistiku. Beograd.
- [50] Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, 15 (3), 259–263, doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
- [51] Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Delimično dostupno na: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs:@0.0,0.0,3.0z> (Pristupljeno 9. jula 2025. godine).
- [52] Ray, T., Malasiya, D., Verma, A., Purswani, E., Qureshi, A., Khan, M. L., et al. Characterization of spatial-temporal distribution of forest fire in Chhattisgarh, India, using MODIS-based active fire data, *Sustainability*, 2023, 15 (9), 7046, doi: <https://doi.org/10.3390/su15097046>.
- [53] Liu, Z., Cheng, L. Review of gis technology and its applications in different areas, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 735 (1), 012066, doi: 10.1088/1757-899X/735/1/012066.
- [54] Fiedukowicz, A. The role of spatial context information in the generalization of geographic information: Using reducts to indicate relevant attributes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020, 9 (1), 37, doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi9010037>.
- [55] Miletić, M., Stevanović, M. Prostorna i statistička analiza divljih deponija na teritoriji opštine Aleksinac primenom GIS-a i softvera PAST, *Zbornik radova 16. Naučno-stručnog skupa „Studenti u susret nauci – StES 2023“* (Banja Luka), 2023, 1, 77–96.
- [56] Žižić, M., Lovrić, M., Pavličić, D. (2000): *Metodi statističke analize*. Ekonomski fakultet. Beograd. [57] *Meteorološki godišnjaci (1981–2017)*. Republički hidrometeorološki zavod Srbije. Beograd.
- [58] CORINE Land Cover (2012). Delimično dostupno na: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> (Pristupljeno 11. jula 2025. godine).
- [59] Tošić, I., Mladjan, D., Gavrilov, M. B., Živanović, S., Radaković, M. G., Putniković, S., et al. Potential influence of meteorological variables on forest fire risk in Serbia during the period 2000-2017, *Open Geosciences*, 2019, 11 (1), 414–425, doi: <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0033>.
- [60] Gajović, V., Todorović, B. Spatial and temporal analysis of fires in Serbia for period 2000-2013, *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijic“, SASA*, 2013, 63 (3), 297–312.
- [61] Ducić, V., Radovanović, M. (2005): *Klima Srbije*. I izdanje. Zavod za udzbenike i nastavna sredstva. Beograd.
- [62] Anđelković, G., Jovanović, S., Manojlović, S., Samardžić, I., Živković, L., Šabić, D., et al. Extreme precipitation events in Serbia: defining the threshold criteria for emergency preparedness, *Atmosphere*, 2018, 9 (5), 188, doi: <https://doi.org/10.3390/atmos9050188>.

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF FIRES IN THE TERRITORY OF THE MUNICIPALITY OF ALEKSINAC

Authors: MILAN MILETIĆ, Jovana Vuletić

Email: milanmiletic181@gmail.com

Mentor: Assoc. Prof. Mrđan Đokić

Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš

Introduction: Open-area fires are a major environmental problem and, in most cases, are caused by human negligence. They are often limited in scope and intensity, but can spread and cause serious consequences for natural ecosystems and endanger the lives of people and animals. The municipality of Aleksinac faces similar challenges, as open fires are frequently recorded in its territory.

Aim: The aim of the study was to analyse the spatial and temporal distribution of open-area fires and to observe patterns of their occurrence and spatial grouping.

Materials and Methods: Fire data recorded by MODIS sensors were downloaded from NASA's FIRMS platform. Subsets of historical fire locations, registered between January 1, 2001, and July 9, 2025, were downloaded in vector data format. The spatial and temporal analysis was carried out using the QGIS and PAST programmes.

Results: The highest number of registered fires in one year was recorded in 2007, when a total of 31 fires were registered. A large number of fires were the result of low rainfall and high air temperatures. In periods when the average monthly air temperatures were lower and the monthly amount of precipitation was above the multi-year average, the number of fires was significantly lower. The spatial analysis identified 10 clusters, 5 of which are located in the South Morava Valley. The largest number of fires was registered in Cluster 4, which included the areas west and north-west of Aleksinac, and which spatially coincided with the most intense hotspot of fire occurrence.

Conclusion: Meteorological conditions play a key role in the occurrence and spread of fires in the area of the municipality of Aleksinac, while the frequent fires in October and March are a consequence of increased agricultural activity. Non-irrigated arable land has the highest risk of open-area fires.

Keywords: MODIS; fires; spatial analysis; temporal analysis; hotspots

REGIONALIZACIJA VODOVODNOG SISTEMA KAO PUT OPTIMALIZACIJI VODOSNABDIJEVANJA REPUBLIKE SRPSKE

Autor: NIKOLINA ĐUKIĆ, Marko Kalaba, Nemanja Banjac

e-mail: nikolina.djukic@student.pmf.unibl.org

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Uvod: Dostupnost vodovodne infrastrukture predstavlja značajan faktor razvoja prostora. Nedostatak vodovodne infrastrukture može pokrenuti niz negativnih procesa u prostoru, poput lošijih performansi privrede, smanjenih higijensko-sanitarnih uslova, smanjenje kvaliteta života, deruralizacije, unutrašnjih i vanjskih migracija, te kao takav predstavlja značajno ograničenje razvoja. Regionalizacija vodovodnog sistema se sve češće implementuje kao rješenje ovog problema. Postoje mnogi dobri primjeri u zemljama Evropske unije i regiona koji ovo potvrđuju. Regionalni sistem vodosnabdijevanja nudi brojne ekonomske benefite i omogućava adekvatno vodosnabdijevanje vanurbanom stanovništvu. Republika Srpska se suočava sa brojnim problemima kada je u pitanju vodosnabdijevanje. Većina ruralnog prostora, kao i veći broj nerazvijenih opština, nije pokriveno sistemima hidrotehničke infrastrukture.

Cilj: Analiza postojećeg stanja dostupnosti i prijedlog mjera za optimalizaciju vodovodnog sistema u Republici Srpskoj kroz mogućnosti uspostavljanja regionalnih sistema.

Materijal i metode: Tokom istraživanja poštovani su svi naučni principi kojima se ostvaruje objektivnost i metodološka pravilnost rada. Konsultovana je stručna literatura iz ove oblasti, kao i važeća prostorno-planska dokumentacija koja tretira ovaj prostor. Metod analize i sinteze korišten je prilikom obrade prikupljenih podataka, što je omogućilo donošenje relevantnog zaključka. Za potrebu analize demografskih podataka, kao i podataka koji se tiču vodosnabdijevanja, korišten je statistički metod. Rezultati istraživanja prikazani su kartografskom metodom.

Rezultati: Kroz rezultate istraživanja prikazane su regije sa najvećim nedostatkom vodovodnih priključaka i predložene su planske mjere tretiranja problema.

Zaključak: Analiza vodovodne infrastrukture u Republici Srpskoj ukazuje na izražene prostorne i infrastrukturne neujednačenosti među jedinicama lokalne samouprave. Unapređenje vodovodne infrastrukture, uz povećanje efikasnosti postojećih sistema, ključno je za ostvarenje održivog i uravnoteženog prostornog razvoja Republike Srpske, a ostvarivo je regionalizacijom vodovodnih sistema.

Ključne riječi: vodosnabdijevanje, regionalizacija, Republika Srpska, infrastruktura.

UVOD

Republika Srpska u administrativnom pogledu sačinjena je od 64 jedinice lokalne samouprave, odnosno 11 gradova i 53 opštine. Svi gradovi i opštine integrisani su u četiri nodalno-funkcionalne regije: Banjalučka, Dobojsko-bijeljinska, Sarajevsko-zvornička i Trebinjsko-fočanska regija. Prostorni razvoj Republike Srpske je neuravnotežen, čemu svjedoči raspored stanovništva i pojava problemskih područja. Pomenuta predstavljaju manje opštine, smještene u najvećoj mjeri u pograničnim prostorima, koje karakterišu

izraženi procesi depopulacije, unutrašnjih i vanjskih migracija, te nepovoljne starosne strukture. Problemska područja prati izostanak fizičke i društvene infrastrukture.

Razvoj infrastrukture osnovna je pretpostavka valorizacije i vrednovanja geopotencijala i pokretanja privrednih aktivnosti. Uslovljen je stepenom dostignutog tehnološkog i ekonomskog razvoja, kao i odnosom društva prema raspoloživim potencijalima, te definisanim pravcima privrednog razvoja i društvenih usluga koji regulišu ulaganja u infrastrukturu i prioritete razvoja [2].

Dok u ruralnom prostoru hidrotehnička infrastruktura čini neophodnu stavku u integraciji u savremeni razvoj, u urbanim cjelinama ona predstavlja nužnost u egzistenciji jednog gradskog naselja. Sa ovom tezom slaže se i Radulović, te ističe sljedeće: „Prilikom planiranja vodovodne infrastrukture, prednost treba da ima organizovanje i unapređenje vodovodnih sistema u velikim urbanim cjelinama, pa tek onda u ruralnim, iz razloga što se u gradskim kompleksima, građanstvo jedino oslanja na javno vodosnabdijevanje, dok je u ruralnim dijelovima moguće koristiti sopstvene izvore” [3].

Hidrotehnička infrastruktura predstavlja neophodni segment infrastrukture i pretpostavlja određeni nivo institucionalne izgrađenosti, organizacije i tehničke opremljenosti [2]. Vodovodna infrastruktura predstavlja jedan od osnovnih faktora za razvoj određenog prostora. Ovim radom analizirano je vodosnabdijevanje stanovništva na nivou gradova i opština u Republici Srpskoj. Analiza je obuhvatila stanje broja vodovodnih priključaka, kao i efikasnosti distribucije vode.

Vodosnabdijevanje stanovništva Republike Srpske organizovano je preko 61 centralnog vodovodnog sistema [1] na 64 jedinice lokalne samouprave, što znači da je vodovodima obuhvaćeno oko 48% ukupne populacije. Slabost predstavlja izrazito neravnomjeran regijski razvoj, tj. razvojne disproporcije između pojedinih regija Republike, kao i slabosti disproporcija unutar regija, pogotovo onih na području Banjalučke regije.

Fizički oblik Republike Srpske podrazumijeva ekonomsko jačanje regijskih centara osposobljenih za funkcionalno organizovanje i povezivanje jedinica lokalne samouprave, a samim tim i uspostavljanje regijskih vodovoda. Regionalni sistemi treba da budu ekonomski prihvatljivi i sa jasno definisanim upravljačkim funkcijama po nivoima upravljanja i odlučivanja, posebno u slučaju uspostavljanja velikih integralnih sistema u kojima je vodosnabdijevanje jedan od vrlo važnih podsistema u okviru njih.

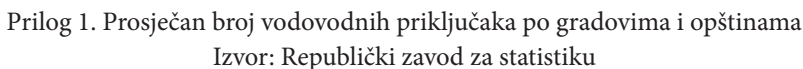
Kako ističe Frone, glavni faktori koji podstiču regionalizaciju uključuju: povećanje efikasnosti kroz ekonomiju obima, bolji pristup vodenim resursima i integrisano upravljanje njima, posljedice prethodnih decentralizacija, jačanje profesionalnih kapaciteta, lakši pristup finansiranju i/ili privatnom sektoru, dijeljenje troškova između skupih i jeftinijih oblasti usluga [6].

MATERIJAL I METODE

Tokom istraživanja poštovani su svi naučni principi kojima se ostvaruje objektivnost i metodološka pravilnost rada. Konsultovana je stručna literatura iz ove oblasti, kao i važeća prostorno-planska dokumentacija koja tretira ovaj prostor. Metod analize i sinteze korišten je prilikom obrade prikupljenih podataka, što je omogućilo donošenje relevantnog zaključka. Za potrebu analize demografskih podataka, kao i podataka koji se tiču vodosnabdijevanja korišten je statistički metod. Prikupljeni podaci obrađeni su i sintetizovani pomoću formula, te su se rezultati prikazali u procentualnim udjelima po gradovima i opštinama. Za potrebe izrade ovog rada izračunati su: prosječan broj vodovodnih priključaka, efikasnost distribucije vode. Prosječan broj vodovodnih priključaka izračunat je tako što se ukupan broj priključaka podijelio sa ukupnim brojem domaćinstava za svaku jedinicu lokalne samouprave. Efikasnost distribucije vode dobijena je tako što je ukupna količina isporučene vode podijeljena sa ukupnom količinom zahvaćene vode, izraženom

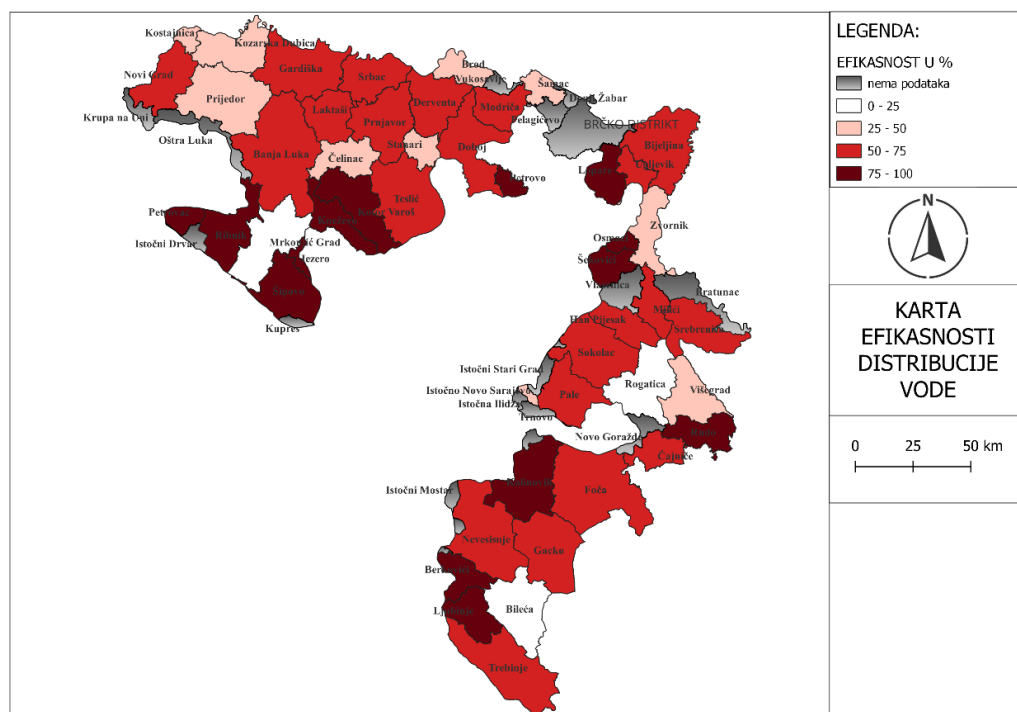
U okviru analiziranog obuhvata nalazi se izvjestan broj opština za koje nisu dostupni statistički podaci o stanju vodovodne infrastrukture. To su: Bratunac, Vlasenica, Vukosavlje, Donji Žabar, Istočni Drvar, Istočni Mostar, Istočna Ilidža, Istočni Stari Grad, Trnovo, Krupa na Uni, Kupres, Oštra Luka, Pelagićevo, Stanari.

Analizom prosječnih vodovodnih priključaka zaključeno je da tri jedinice lokalne samouprave (Trebinje, Istočno Novo Sarajevo i Petrovac) imaju vrijednost veću od 100% odnosno više ukupnih vodovodnih priključaka u odnosu na broj domaćinstava (Prilog 1). Ovakvo stanje može se objasniti činjenicom da pojedina domaćinstva imaju nekoliko priključaka, najčešće na pomoćnim objektima. U intervalu od 75 do 100% nalazi se 16 jedinica lokalne samouprave. Od 50 do 75% prosječnih vodovodnih priključaka nalazi se 14 opština. U intervalu između 25 i 50% nalazi se 11 opština. Do 25% pokrivenosti vodo- snabdijevanjem zauzimaju tri opštine: Lopare, Milići i Srebrenica. Uvidom u Prilog 1 može se zaključiti da najrazvijenije područje u ovom segmentu predstavlja Banjalučka regija.



69

Najveći broj jedinica lokalne samouprave, odnosno čak 22, nalazi se u intervalu od 50 do 75% (Prilog 2). Manji udio čine jedinice lokalne samouprave koje imaju efikasnost do 50%, odnosno problem sa velikim gubicima vode. U ovu kategoriju pripadaju: Rogatica, Mrkonjić Grad, Bileća, Stanari, Višegrad, Prijedor, Kostajnica, Zvornik, Kozarska Dubica, Brod, Istočno Novo Sarajevo i Šamac.



Prilog 2. Efikasnost distribucije vode po gradovima i opštinama
Izvor: Republički zavod za statistiku

Prosječni gubici vode u vodovodnim sistemima su oko 48% od ukupnih količina [5], što govori o stanju tih sistema. Zbog toga je smanjenje tih gubitaka ujedno i najznačajnija rezerva vode za snabdijevanje naselja, nakon obnove sistema i sanacije gubitaka u njima.

Lokalna izvorišta vode za vodosnabdijevanje se većim dijelom iscrpljuju, što uslovljava nužnost razvoja regionalnih sistema, sa prebacivanjem vode na sve veće udaljenosti. Ranije izgrađeni parcijalni sistemi se dograđuju, dobijaju sve brojnije funkcije i međusobno povezuju u sve veće cjeline [5].

Regionalizacija predstavlja potencijalno rješenje kada postoji neujednačen pristup vodi ili kada je potrebno upravljati resursima na nivou riječnih slivova. Primjera radi, u Engleskoj i Velsu su još 1974. godine lokalne vlasti objedinjene u 10 regionalnih vodnih uprava na osnovu granica riječnih slivova [6].

Republiku Srpsku čini šest slivova: sliv Une sa Sanom, sliv Vrbasa, sliv Bosne, sliv Drine, sliv Trebišnjice, sliv Neretve. Ukupne rezerve podzemnih voda na teritoriji Republike Srpske procjenjuju se na oko 21 375 l/s (Tabela br. 1). U poređenju sa prosječnom potrošnjom po domaćinstvu u Republici Srpskoj koja iznosi 1 l/s na 100 domaćinstava [7], te sa uračunatim prosječnim gubicima vode prilikom distribucije koja iznosi 48%, procijenjena količina ukupne rezerve podzemnih voda pri maksimalnoj eksploataciji dovoljna je da

zadovolji potrebe vodosnabdijevanja za 1 111 500 domaćinstava što je za oko 2,7 puta više nego što je potrebno da se zadovolje potrebe svih domaćinstava u Republici Srpskoj. Ako se spustimo na nivo potencijalnih regija, odnosno slivova najveći potencijal ima sliv Vrbasa sa mogućnošću snabdijevanja oko 504 400 domaćinstava, zatim sliv Drine sa 268 840 domaćinstava, sliv Une sa Sanom sa 199 680 domaćinstava, sliv Neretve sa 126 880 domaćinstava, sliv Bosne sa 37 700 domaćinstava, a najmanji potencijal sliv Trebišnjice sa potencijalom za vodosnabdijevanje 26 000 domaćinstava (Tabela br. 1). Dakle, u teoriji postoji dovoljan kapacitet vodnih rezervi.

RIJEČNI SLIV	NEKAPTIRANI IZVORI (L/s)	MAKSIMALNI BROJ SNABDIJEVENIH DOMAĆINSTAVA
Sliv Une sa Sanom	3 840	199 680
Sliv Vrbasa	9 700	504 400
Sliv Bosne	725	37 700
Sliv Drine	5 170	268 840
Sliv Trebišnjice	500	26 000
Sliv Neretve	2 440	126 880
UKUPNO U RS	21 375	1 111 500

Tabela 1. Raspoložive rezerve podzemnih voda po slivovima u Republici Srpskoj
Izvor: Strategija integralnog upravljanja vodama Republike Srpske

ZAKLJUČAK

Planiranje vodovodne infrastrukture je značajno za prostorno planiranje i zahtijeva usaglašavanje sa prostorno-planskom dokumentacijom. U praksi nailazimo na razne probleme koji ograničavaju utopijsku ideju o uravnoteženom prostornom razvoju. Sa druge strane, prostorni planeri treba da teže ka jednom od najznačajnijih ciljeva prostornog planiranja – omogućiti jednak kvalitet života svim stanovnicima. Zato treba postaviti realne ciljeve u skladu sa prethodno provedenim analizama.

Analiza vodovodne infrastrukture u Republici Srpskoj ukazuje na izražene prostorne i infrastrukturne nejednakeosti među jedinicama lokalne samouprave. Dok pojedine jedinice lokalne samouprave, poput Trebinja, bilježe visok stepen pokrivenosti vodovodnim priključcima, kao i efikasnu distribuciju, mnoge jedinice lokalne samouprave i dalje se suočavaju sa niskim stepenom priključenosti.

Podaci ukazuju da gotovo polovina od ukupne količine zahvaćene vode biva izgubljena tokom distribucije, što dodatno opterećuje postojeće resurse i ističe potrebu za hitnim infrastrukturnim unapređenjima. Poseban izazov predstavlja nedostatak statističkih podataka za određeni broj opština, što može biti ograničenje prilikom procesa izrade prostorno-planske dokumentacije.

Među najoptimalnijim rješenjima izdvaja se regionalizacija postojećih lokalnih vodovodnih sistema. Cilj regionalnog pristupa je da maksimizira efikasnost i minimizira troškove kroz integrisane sisteme, kako bi se obezbijedila dugoročna održivost i razvoj sektora vode, ali i širi ekonomski i društveni napredak regiona [6].

Unapređenje vodovodne infrastrukture, uz povećanje efikasnosti postojećih sistema, ključno je za ostvarenje održivog i uravnoteženog prostornog razvoja Republike Srpske.

LITERATURA I IZVORI

1. Izmjena i dopuna Prostornog plana Republike Srpske do 2025. godine (2015). Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju. Banja Luka: Urbanistički zavod.
2. Mandić, M. (2019). Geografski aspekti ruralnog razvoja. Banja Luka: Geografsko društvo Republike Srpske.
3. Radulović, J. , Obućinski, D. & Lutovac, D. (2020). The Water Resources Management in Function of Sustainable Development. Zbornik radova sa konferencije „Savremeni izazovi u očuvanju voda”.
4. Statistički bilten: Gradovi i opštine Republike Srpske (2024). Banja Luka: Republički zavod za statistiku.
5. Strategija integralnog upravljanja vodama Republike Srpske 2015–2024 (2015). Zavod za vodoprivredu. Vlada Republike Srpske.
6. Frone, S. (2008). Factors and challenges of regionalization in the water and wastewater sector. Institute of National Economy, Romanian Academy.
7. Стратегија водоснабдијевања општине Прњавор за период 2016–2020. година. (2016). Град Прњавор.

REGIONALIZATION OF THE WATER SUPPLY SYSTEM AS A PATHWAY TO OPTIMIZING WATER SUPPLY IN THE REPUBLIC OF SRPSKA

Authors: NIKOLINA ĐUKIĆ, Marko Kalaba, Nemanja Banjac

Email: nikolina.djukic@student.pmf.unibl.org

Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka

Introduction: The availability of water supply infrastructure is a key determinant of spatial development. Insufficient infrastructure can trigger a range of adverse processes, including weaker economic performance, deteriorating hygienic and sanitary conditions, reduced quality of life, deruralization, as well as internal and external migration. Consequently, this represents a significant barrier to sustainable development. Regionalization of water supply systems is increasingly recognized as a viable solution to these challenges, with numerous successful examples across the European Union and the wider region. Regional systems provide substantial economic benefits and enable a reliable water supply for non-urban populations. The Republic of Srpska faces persistent difficulties in this regard, as much of its rural territory and a considerable number of underdeveloped municipalities remain uncovered by hydrotechnical infrastructure.

Aim: This study aims to analyze the current state of water supply infrastructure and propose measures for optimizing the system in the Republic of Srpska through the establishment of regional supply networks.

Materials and Methods: During the research, all scientific principles necessary to ensure objectivity and methodological rigor were observed. Relevant scholarly literature in the field, along with official spatial planning documentation pertaining to the study area, was thoroughly consulted. Analytical and synthetic methods were applied in processing the collected data, enabling the formulation of well-founded conclusions. Statistical methods were employed for the analysis of demographic data and water supply indicators, while the results of the research were presented through cartographic techniques.

Results: Through the research findings, regions with the greatest shortage of water supply connections were identified, and planning measures for addressing the issue were proposed.

Conclusion: The analysis of water supply infrastructure in the Republic of Srpska reveals significant spatial and infrastructural disparities among local government units. Strengthening water supply infrastructure and improving the efficiency of existing systems are essential to achieving sustainable and balanced spatial development. These objectives can be most effectively realized through the regionalization of water supply systems.

Keywords: water supply; regionalization; Republic of Srpska; infrastructure

MORFOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE I FEKUNDITET INVAZIVNE VRSTE *POTAMOPYRGUS ANTIPODARUM* (MOLLUSCA, GASTROPODA) – PRVI PODACI ZA BOSNU I HERCEGOVINU

Autor: VALENTINA KNEŽEVIĆ

e-mail: valentina.knezevic@student.pmf.unibl.org

Mentor: prof. dr Dejan Dmitrović

Studijski program Biologija

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Uvod: *Potamopyrgus antipodarum* (J. E. Gray, 1843) je invazivni puž slatkih i brakičnih voda autohton na prostoru Novog Zelanda, a u Evropi se širi od 19. vijeka. Prvi nalazi u Bosni i Hercegovini publikovani su 2005. godine, a vrsta je pronađena u rijeci Krivaji. Kasnije je prisustvo ove invazivne vrste puževa zabilježeno i u nekim izvorima u slivu rijeke Bosne i Vrbasa. Poznato je da su morfolometrijske karakteristike i fekunditet od velike važnosti za adaptivnost i reproduktivni potencijal neke vrste. Međutim, ovi parametri ranije nisu bili predmet istraživanja u populacijama vrste *P. antipodarum* na prostoru Bosne i Hercegovine.

Cilj: Utvrditi dimenzije ljuštura i broj embriona *P. antipodarum* iz odabranog izvora na desnoj obali rijeke Vrbas u Banjoj Luci, te ispitati moguću povezanost između veličine ljuštura i fekunditeta.

Materijal i metode: Po principu slučajnosti, odabrano je 30 jedinki za morfolometrijsku analizu. Nakon fotografisanja kamerom stereomikroskopa Leica EZ4D, mjereni su sljedeći parametri: totalna visina ljušture, visina otvora, totalna širina ljušture, širina otvora i visina spiralnog dijela iznad otvora ljušture. Utvrđen je pol i broj embriona kod istih jedinki. Urađena je deskriptivna statistika. Izračunat je Pirsonov koeficijent korelacije (r) između totalne visine ljušture i broja embriona.

Rezultati: Srednja vrijednost totalne visine ljušture iznosila je $4,03 \pm 0,30$ mm, totalne širine $2,14 \pm 0,17$ mm, visine otvora $1,49 \pm 0,13$ mm, a širine otvora $1,28 \pm 0,10$ mm. Broj embriona varirao je od 13 do 36. Najniži koeficijent variranja zabilježen je za totalnu visinu ljušture (7,44%), a najviši za broj embriona (28,49%). Utvrđena je umjerena pozitivna korelacija između veličine ljuštura i broja embriona ($r = 0,54$), što sugeriše da krupniji puževi imaju tendenciju da formiraju veći broj embriona.

Zaključak: Srednje vrijednosti morfolometrijskih parametara ljuštura i broja embriona uklapaju se u poznati opseg. Fekunditet ove invazivne vrste raste sa povećanjem dimenzija ljuštura.

Ključne riječi: akvatični puževi, morfolometrija, reproduktivni potencijal, invazivna vrsta, kraški izvori.

UVOD

Puževi vrste *Potamopyrgus antipodarum* (J. E. Gray, 1843) pripadaju porodici Tateidae [1]. Autohtoni su za slatke i brakične vode na prostoru Novog Zelanda [2]. Njegovo prisustvo u evropskim vodama je prvi put zabilježeno u 19. vijeku, a od tada počinje intenzivno širenje. Prema dosadašnjim istraživanjima, glavni putevi i mehanizmi širenja obuhvataju: antropogene vektore (balastne vode brodova, ribnjačarstvo, pribor i oprema za ribolov) i prirodne vektore (ptice selice, ribe i površinski napon vode ili plutajući objekti) [3]. *P. antipodarum* se nalazi na listi „100 najgorih” invazivnih vrsta Evrope [4]. Prve podatke o nalazu ove vrste u Bosni i Hercegovini, u rijeci Krivaji, daje Cikotić [5]. Kasnije je prisustvo ove invazivne vrste puževa, na prostoru Bosne i Hercegovine, zabilježeno i u jednom od izvora rijeke Bosne [6], kao i u nekoliko izvora u slivu rijeke Vrbas [7].

Uspješan transport i širenje ove invazivne vrste omogućen je usljed njene izuzetne ekološke plastičnosti i visoke tolerancije na fizičko-hemijske osobine vode. Dodatni faktor koji predstavlja prijetnju za autohtone vrste jeste odsustvo parazita koji se javljaju u nativnim staništima vrste *P. antipodarum*, što omogućuje njen maksimalan reproduktivni potencijal [8]. Iako je uticaj ove vrste na autohtonu faunu varijabilan u odnosu na mjesto invazije, pripisuju joj se izraženi kompetitivni odnosi, kao i negativan uticaj na ekosisteme u cjelini [7].

Morfometrijske karakteristike, poput totalne visine i totalne širine ljuštura i otvora, od velike su važnosti za determinaciju jedinki vrste *P. antipodarum*, ali i za procjenu kapaciteta fenotipske plastičnosti i adaptivnosti vrste na različite ekološke uslove sredine [9].

Fekunditet i broj embriona unutar ljuštura vrste *P. antipodarum* usko su povezani sa totalnom širinom i totalnom visinom ljuštura. Ovoviviparija, kao i partenogeneza, omogućuju visoki stepen reprodukcije i povećanja populacije, čime ove jedinke povećavaju dominaciju među autohtonim vrstama [10].

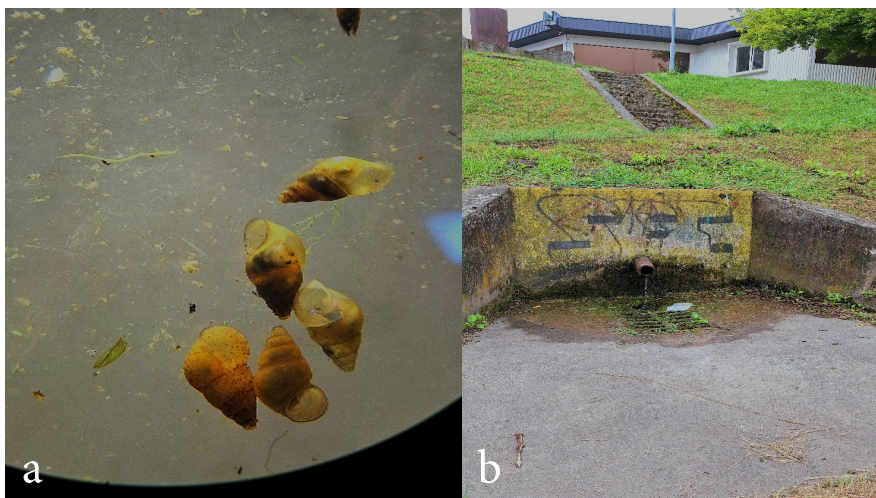
Analiza morfometrijskih karakteristika i fekunditeta vrste *P. antipodarum* ranije nije bila predmet istraživanja kada su u pitanju populacije ove vrste puževa na prostoru Bosne i Hercegovine.

Cilj ovog rada bio je utvrditi dimenzije ljuštura i broj embriona puževa vrste *P. antipodarum* iz jednog izvorskog ekosistema u Bosni i Hercegovini, kao i moguću povezanost između veličine ljuštura i fekunditeta ove invazivne vrste puževa.

MATERIJAL I METODE

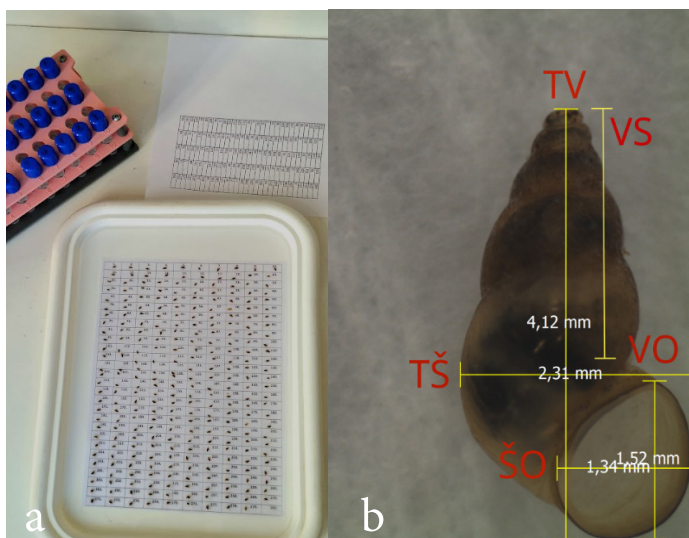
Puževi vrste *P. antipodarum* (Slika 1a) sakupljeni su tokom istraživanja makrozoobentosa izvora koji se nalazi na desnoj obali rijeke Vrbas naspram tvrđave Kastel u Banjoj Luci [11]. Predmetni izvor je modifikovan i podešen za vodosnabdijevanje (Slika 1b). Semikvantitativno uzorkovanje makrozoobentosa vršeno je pomoću ručne mreže (dijametar okaca 500 μm), krajem juna 2024. godine. Uzorak je prikupljen sa svih tipova supstrata, a prema proceduri koju daju Gerecke et al [12]. Potom je na terenu fiksiran 70% etanolom. Analiziran je u laboratoriji Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci korištenjem stereomikroskopa Leica EZ4D. Identifikacija vrste

P. antipodarum izvršena je uz pomoć odgovarajućih ključeva za determinaciju [13,14].



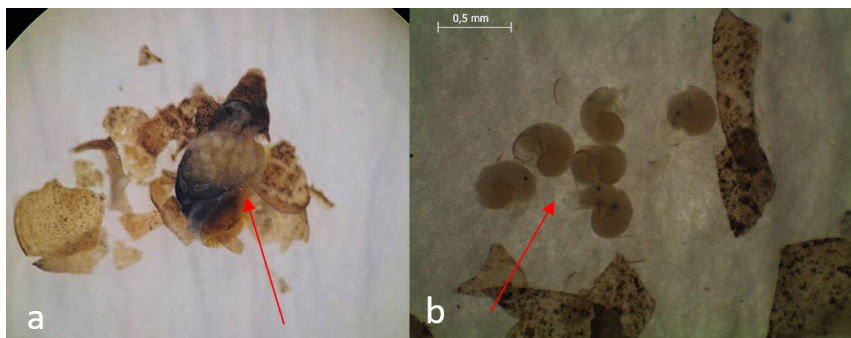
Slika br. 1. Puževi vrste *P. antipodarum* (a) iz predmetnog izvora na desnoj obali rijeke Vrbas (b)

Morfometrijska analiza puževa vrste *P. antipodarum* vršena je u martu 2025. godine, takođe u laboratoriji Prirodno-matematičkog fakulteta. Iz ukupnog broja od 279 jedinki, po principu slučajnosti, a uz pomoć Microsoft Excel programa, odabrano je 30 jedinki za dalju analizu (Slika 2a). Sve jedinke su fotografisane kamerom stereomikroskopa Leica EZ4D, a primjenom pratećeg programa za analizu fotografija mjereni su sljedeći morfolometrijski parametri (Slika 2b): totalna visina ljuštore (TV), visina otvora (VO), totalna širina ljuštore (TŠ), te širina otvora (ŠO). Visina spiralnog dijela iznad otvora ljuštore (VS) predstavlja razliku između parametara TV i VO.



Slika br. 2. Izbor jedinki za dalju analizu (a) i analizirani morfometrijski parametri (b)

U aprilu 2025. godine, u laboratoriji Prirodno-matematičkog fakulteta, izvršeno je utvrđivanje pola jedinki vrste *P. antipodarum* i prebrojavanje njihovih embriona. Pol jedinki utvrđen je disekcijom u etanolu, a nakon lomljenja njihovih ljuštura vršenjem blagog pritiska. Uzorak je obuhvatio svih 30 jedinki koje su korištene za morfometrijsku analizu. Sve analizirane jedinke su nakon determinacije pola, identifikovane kao adultne ženke sa embrionima (Slika 3a i 3b). Prebrojavanje embriona obavljeno je pod uvećanjem stereomikroskopa Leica EZ4D. Na taj način su dobijeni podaci za fekunditet.



Slika br. 3. Slomljena ljuštura jedinke u kojoj se naziru embrioni označeni strelicom (a) i uvećan prikaz embriona nakon njihovog izdvajanja (b)

Na osnovu rezultata mjerenja morfometrijskih parametara, primjenom programa Microsoft Excel, urađena je deskriptivna statistika. Utvrđene su: minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti analiziranih parametara, standardna devijacija i koeficijent variranja. Primjenom istog programa izračunat je Pirsonov koeficijent korelacije (r) između varijabli (totalna visina ljuštore i broj embriona), utvrđena je statistička značajnost (testirana pomoću t-distribucije), kao i uticaj visine ljuštore na fekunditet (korištenjem linearne regresije).

REZULTATI

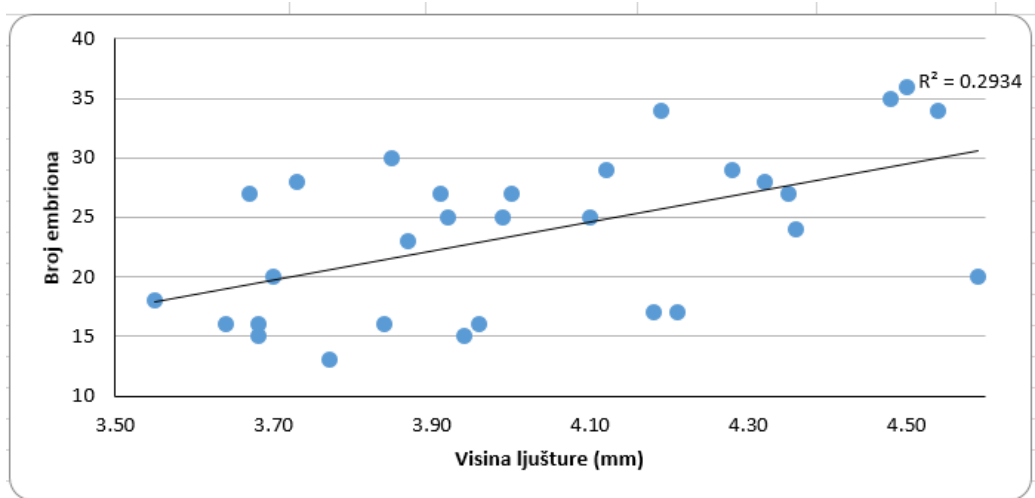
Rezultati mjerenja analiziranih morfometrijskih parametara, kao i rezultati deskriptivne statistike istih, predstavljeni su u Tabeli 1. Totalna visina ljuštore (TV) varirala je između 3,55 mm i 4,59 mm, sa srednjom vrijednošću $4,03 \pm 0,30$ mm. Raspon visine otvora (VO) bio je između 1,25 mm i 1,81 mm, sa srednjom vrijednošću $1,49 \pm 0,13$ mm, dok je visina spiralnog dijela iznad otvora (VS) imala nešto veći raspon, od 2,24 mm i 2,92 mm, a srednja vrijednost iznosila je $2,54 \pm 0,12$ mm. Totalna širina ljuštore (TŠ) varirala je od 1,72 mm do 2,35 mm, sa srednjom vrijednošću $2,14 \pm 0,17$ mm, dok je raspon širine otvora (ŠO) varirao od 1,08 mm do 1,62 mm, čija je srednja vrijednost iznosila $1,28 \pm 0,10$ mm. Najniži koeficijent variranja zabilježen je za totalnu visinu ljuštore (7,44%), a najviši za visinu otvora (8,98%).

Redni broj jedinke	TV	VO	VS	TŠ	ŠO	Broj embriona
1.	4,18	1,56	2,62	2,06	1,25	17
2.	4,12	1,52	2,60	2,31	1,34	29
3.	3,77	1,53	2,24	1,91	1,21	13
4.	4,54	1,62	2,92	2,35	1,62	34
5.	3,70	1,41	2,29	1,94	1,28	20
6.	4,50	1,59	2,91	2,35	1,42	36
7.	3,91	1,55	2,36	2,26	1,29	27
8.	3,64	1,35	2,29	1,72	1,14	16
9.	3,92	1,38	2,54	2,00	1,08	25
10.	3,94	1,29	2,65	2,04	1,37	15
11.	3,68	1,30	2,38	1,83	1,20	15
12.	4,00	1,48	2,52	2,23	1,26	27
13.	4,48	1,67	2,81	2,33	1,21	35
14.	3,87	1,40	2,47	2,02	1,25	23
15.	3,67	1,43	2,24	2,16	1,26	27
16.	3,73	1,37	2,36	2,06	1,33	28
17.	3,96	1,56	2,40	2,13	1,24	16
18.	3,85	1,42	2,43	2,24	1,21	30
19.	4,28	1,66	2,62	2,29	1,36	29
20.	4,19	1,63	2,56	2,21	1,37	34
21.	4,59	1,81	2,78	2,32	1,38	20
22.	4,32	1,54	2,78	2,34	1,32	28
23.	4,10	1,51	2,59	2,13	1,36	25
24.	3,99	1,48	2,51	2,14	1,33	25
25.	3,84	1,33	2,51	2,13	1,16	16

26.	4,21	1,55	2,66	2,22	1,28	17
27.	4,35	1,61	2,74	2,25	1,29	27
28.	3,55	1,25	2,30	1,89	1,19	18
29.	3,68	1,29	2,39	1,94	1,15	16
30.	4,36	1,53	2,83	2,26	1,29	24
Minimalna vrijednost	3,55	1,25	2,24	1,72	1,08	13
Maksimalna vrijednost	4,59	1,81	2,92	2,35	1,62	36
Srednja vrijednost	4,03	1,49	2,54	2,14	1,28	23,73
Standardna devijacija	0,30	0,13	0,20	0,17	0,10	6,76
Koeficijent variranja	7,44%	8,98%	7,84%	7,99%	8,06%	28,49%

Tabela 1. Vrijednosti analiziranih morfometrijskih parametara i fekunditet puževa vrste *P. antipodarum*

Broj embriona unutar analiziranih jedinki varirao je od 13 do 36 ($23,73 \pm 6,76$), sa koeficijentom varijacije 28,49%. Analizom odnosa između visine ljuštura puževa i broja njihovih embriona, dobijen je koeficijent korelacije od približno 0,5 ($r=0,54$), što ukazuje na umjerenu pozitivnu korelaciju (Slika 4). Ovo sugerira da krupniji puževi generalno imaju tendenciju da formiraju veći broj embriona.



Slika 4. Povezanost visine ljuštura i fekunditeta kod analiziranih puževa vrste *P. antipodarum*

Iako je dobijeni rezultat statistički značajan ($p=0,002$), nije pronađena savršena povezanost ($R^2=0,29$). Odnosno, samo 29% varijacije u broju embriona može da se objasni visinom ljuštura puževa. Preostalih 71% varijacije može biti zbog drugih faktora.

DISKUSIJA

Prema podacima koje daje Glöer [14] visina ljuštura jedinki vrste *P. antipodarum* iznosi 6 mm, a širina ljuštura 4 mm. Rezultati do kojih se došlo u ovom radu uklapaju se u navedeni opseg. Međutim, isti autor navodi da krupnije ljuštura (i do 9 mm visoke), mogu biti povezane sa kastracijom ove invazivne vrste puževa od strane njihovih parazita.

U radu Namias et al [15] praćen je razvoj jedinki inficiranih metiljima vrste *Atriop-hallophorus winterbourni*. Autori su zabilježili da je srednja vrijednost totalne visine ljuštura kod neinficiranih ženki sa embrionima iznosila $4,25 \pm 0,07$ mm, dok je kod neinficiranih ženki bez embriona bila manja ($3,80 \pm 0,06$ mm). U prethodno navedenom radu, srednja vrijednost totalne širine ljuštura neinficiranih ženki sa embrionima iznosila je $2,22 \pm 0,03$ mm, a kod neinficiranih jedinki bez embriona $2,02 \pm 0,03$ mm. Naši rezultati pokazuju slične vrijednosti totalne visine i širine ljuštura kao kod neinficiranih ženki sa embrionima, što može ukazivati na odsustvo infekcije.

Rezultati do kojih se došlo tokom ovog istraživanja pokazuju da se vrsta *P. antipodarum* razmnožava isključivo partenogenetski, jer nije zabilježen niti jedan mužjak u ovom uzorku. Isti trend je uočen i u populacijama u Italiji, gdje partenogenetsko razmnožavanje omogućuje brzo širenje populacije, koju može razviti samo jedna ženka [10]. Generalno, nalaz mužjaka ove vrste puževa u evropskim vodama predstavlja pravu rijetkost [17].

Ovoviviparne jedinke vrste *P. antipodarum* dostižu polnu zrelost kada im je ljuštura visoka oko 3 mm, a na svijet mogu da donesu i do 66 mladih [17], što je u saglasnosti sa rezultatima ovog istraživanja.

Prema podacima koje daju McKenzie et al [16], veličina legla (broj embriona) je u visokoj korelaciji sa veličinom puža, jer veličina ljuštura određuje veličinu komore za formiranje jaja. Međutim, drugi faktori koji utiču na ovu varijabilnost su temperatura, dostupnost hrane, te postepeno otpuštanje mladih iz komore prije postupka utvrđivanja fekunditeta, što je moglo uticati na uzorak opisan u ovom radu.

ZAKLJUČAK

Rezultati analize morfometrijskih karakteristika i fekunditeta vrste *P. antipodarum*, do kojih se došlo tokom ovog istraživanja, prvi su za prostor Bosne i Hercegovine. Srednje vrijednosti osnovnih morfometrijskih parametara ljuštura (visina oko 4 mm i širina oko 2 mm), kao i fekunditeta (oko 24 embriona po jedinki), uklapaju se u poznati opseg. Fekunditet ove invazivne vrste puževa raste sa povećanjem dimenzija njihove ljuštura, što je utvrđeno i u nekim drugim sličnim istraživanjima preduzetim na populacijama izvan Bosne i Hercegovine.

LITERATURA

- [1] MolluscaBase ur. (2025): MolluscaBase. *Potamopyrgus antipodarum* (J.E. Gray, 1843). Preuzeto sa: <https://www.molluscabase.org/aphia.php?p=taxdetails&id=147123> dana 22. 8. 2025.
- [2] Welter-Shcultes F. W. (2012): European non-marine molluscs, a guide for species identification. Planet Poster Editions. Göttingen.
- [3] Schächinger M. P., Beran L., Verhaegen G., Salvador B. R., Ravalo O. G. L., Haase M. Following the snail trail – reconstructing the invasion route and world – wide distribution of the New Zealand mud snail *Potamopyrgus antipodarum* (Mollusca, Caenogastropoda), Biol invasions, 2025, 27:132, doi.org/10.1007/s10530-025-03588-3 .
- [4] Nentwig W., Bacher S., Kumschick S., Pyšek P., Vilà M. More than „100 worst” alien species in Europe, Biological invasions, 2018, 20, 1611–1621, doi.org/10.1007/s10530-017-1651-6.

- [5] Cikotić M. Saprobnia i biološka analiza vode rijeke Krivaje, *Voda i mi*, 2005, 44, 28–36.
- [6] Trožić-Borovac S., Šanjta A., Krlić-Avdibegović S. Diverzitet gastropoda u izvorima na području spomenika prirode vrela Bosne, *Voda i mi*, 2013, 81, 23–30.
- [7] Savić A., Dmitrović D., Martínez A., Pešić V. Ecological impact of freshwater invaders: A case study of gastropod assemblages in karstic spring ecosystems, *Freshwater Biology*, 2024, 69, 1899–1913, doi.org/10.1111/fwb.14350.
- [8] Verhaegen G., Jungmeister von K., Haase M. Life history variation in space and time: environmental and seasonal responses of a parthenogenetic invasive freshwater snail in northern Germany, *Hydrobiologia*, 2021, 848, 2153–2168, doi.org/10.1007/s10750-020-04333-8.
- [9] Männer L., Mundinger C., Haase M. Stay in shape: Assessing the adaptive potential of shell morphology and its sensitivity to temperature in the invasive New Zealand mud snail *Potamopyrgus antipodarum* through phenotypic plasticity and natural selection in Europe, *Ecology and evolution*, 2022, 12, e9314, doi.org/10.1002/ece3.9314.
- [10] Gaino E., Scoccia F., Lancioni T., Ludovisi A. The invader mudsnail *Potamopyrgus antipodarum* in the Tiber River basin (Central Italy), *Italian Journal of Zoology*, 2008, 75(3), 253–261, doi.org/10.1080/11250000701885513.
- [11] Knežević V. Makrozoobentos odabranog izvora u slivu rijeke Vrbas u Banjoj Luci. U: Knežević V, urednik. Zbornik radova 17. naučno–stručnog skupa „Studenti u susret nauci–StES 2024”; 28–30. novembar 2024.; Banja Luka, Bosna i Hercegovina. Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Studentski parlament Univerziteta u Banjoj Luci; 2024. str. 215–216.
- [12] Gerecke R., Meisch C., Stoch F., Aciri F., Franz H. Eucrenon-hypocrenon ecotone and spring typology in the Alps of Berchtesgaden (Upper Bavaria, Germany). A study of microcrustacea (Crustacea: Copepoda, Ostracoda) and water mites (Acari: Halacaridae, Hydrachnellae). In: Botosaneanu L, editor. *Studies in crenobiology: the biology of springs and springbrooks*. Leiden: Backhuys Publishers; 1998. p. 167–182.
- [13] Živić, I., Marković, Z. (2017): Zoobentos kopnenih voda. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu. Beograd.
- [14] Glöer, P. (2019): *The Freshwater Gastropods of the West-Palaearctis. Volume 1: Fresh- and brackish waters except spring and subterranean snails. Identification key, Anatomy, Ecology, Distribution*. Published by the author. Hetlingen.
- [15] Namias A., Delph L.F., Lively C.M. Parasitic manipulation or by-product of infection: an experimental approach using trematode-infected snails, *Journal of Helminthology*, 2022, 96, 1–6, doi.org/10.1017/S0022149X21000699.
- [16] McKenzie V.J., Hall W.E., Guralnick R.P. New Zealand mudsnails (*Potamopyrgus antipodarum*) in Boulder Creek, Colorado: environmental factors associated with fecundity of a parthenogenic invader, *Canadian Journal of Zoology*, 2013, 91, 30–36, doi.org/10.1139/cjz-2012-0183.
- [17] Piechocki A., Wawrzyniak-Wydrowska B. (2016): *Guide to Freshwater and Marine Mollusca of Poland*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań.

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND FECUNDITY OF THE INVASIVE SNAIL SPECIES *POTAMOPYRGUS ANTIPODARUM* (MOLLUSCA, GASTROPODA) – FIRST DATA FOR BOSNIA AND HERZEGOVINA

Author: VALENTINA KNEŽEVIĆ

Email: valentina.knezevic@student.pmf.unibl.org

Mentor: Assoc. Prof. Dejan Dmitrović

Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka

Introduction: *Potamopyrgus antipodarum* (J. E. Gray, 1843) is an invasive freshwater and brackish water snail native to New Zealand, spreading across Europe since the 19th century. The first records in Bosnia and Herzegovina were published in 2005 in the Krivaja River. Later, the presence of this invasive snail species was also recorded in several springs of the rivers Bosna and Vrbas. Morphometric characteristics and fecundity are very important for a species' adaptability and reproductive potential. These parameters have not previously been investigated in Bosnia and Herzegovina's populations.

Aim: To determine shell dimensions and the number of embryos of *P. antipodarum* from a selected spring on the right bank of the Vrbas River in Banja Luka, and to examine a possible relationship between shell size and fecundity.

Materials and Methods: From the total number of individuals, 30 were randomly selected for morphometric analysis. After photographing each individual with a Leica EZ4D stereomicroscope, the following parameters were measured: total shell height, aperture height, total shell width, aperture width, and spire height above the aperture. Sex and number of embryos were determined for the same individuals. Descriptive statistics were performed. Pearson's correlation coefficient (r) was calculated between total shell height and the number of embryos.

Results: The average value of total shell height was 4.03 ± 0.30 mm, total shell width 2.14 ± 0.17 mm, aperture height 1.49 ± 0.13 mm, and aperture width 1.28 ± 0.10 mm. The number of embryos varied from 13 to 36. The lowest coefficient of variation was observed for total shell height (7.44%), and the highest for the number of embryos (28.49%). A moderate positive correlation was found between shell size and number of embryos ($r = 0.54$), which suggests that larger individuals produce more embryos.

Conclusion: The mean shell parameters and number of embryos fall within the known range. Fecundity of this invasive species increases with shell size.

Keywords: aquatic snails; morphometrics; reproductive potential; invasive species; karst springs

ОРТОГОНАЛНИ ПОЛИНОМИ

Аутор: ДРАГАНА КОЈИЋ

е-маил: dragana.kojic@student.ffuis.edu.ba

Ментор: проф. др Видан Говедарица

Филозофски факултет Пале Универзитета у Источном Сарајеву

Увод: Класични ортогонални полиноми као што су Laguerreovi, Hermiteovi и Chebyshevi полиноми имају широку примену у различитим областима науке и инжењерства.

Циљ: Намера овог истраживачког рада је да се прикажу нека од недавних истраживања ортогоналних полинома, са посебним нагласком на њихове аналитичке особине и теорију апроксимација.

Метод: У раду је примењен квантитативно-квалитативни научни метод. Истраживачки рад је заснован на студирању научне грађе, одакле су преузимани и обрађивани подаци значајни за ову тему.

Резултати: Долази се до резултата да се савремена истраживања из теорије вероватноће, теорије графова, кодирања итд. ослањају на знања из области ортогоналних полинома. Рад представља резултате теоријског истраживања између односа ортогоналних полинома и њихове примене у конкретним рачунским задацима. Приказане су кључне особине ових полинома илустроване одабраним примерима који омогућавају боље разумевање њихове структуре и практичне примене.

Закључак: Апроксимација преносне функције филтра ниских фреквенција је заснована на једноставној адаптацији ортогоналних Јакобијевих полинома. Gauss-ова интеграција представља моћан нумерички алат за апроксимацију интеграла, користећи посебно одабране тачке и тежинске функције како би се постигла максимална тачност уз минималан број рачуна. Ортогонални полиноми представљају везу математике са инжењерским дисциплинама, па је изучавање особина ортогоналних полинома од велике важности.

Кључне речи: ортогонални полиноми, диференцијална једначина, ортогонална функција.

УВОД

Класични ортогонални полиноми први пут се појављују у делу француског математичара А. М. Legendrea (1). Legendre-ови полиноми и њихове ортогоналне особине испитивани су још крајем 18. века приликом одређивања сила привлачења између небеских тела [1 – 2].

Настали су решавањем диференцијалних једначина¹ и имају широк спектар примена у разним подручјима математике и физике (2), а недуго након тога,

¹ Једначина у којој се појављује непозната функција, заједно са својим изводима назива се диференцијална једначина.

проблем интеграћења линеарне диференцијалне једначине првог реда своди се на проблем квадратуре. Период од почетног открића општих метода интеграћења обичних диференцијалних једначина завршен је 1775. године [8 – 10].

За многе проблеме, формалне методе нису биле довољне. Као резултат решавања диференцијалних једначина на бесконачним и полубесконачним интервалима дошло се до *Hermite-ових* полинома. Средином 19. века пронађени су и *Laguerre-ови* полиноми. Поменути типови полинома, ортогонални на реалној правој у односу на одређену тежинску функцију, још од *Gauss-овог* времена се користе за нумеричку процену интеграла. *Чебишев* је током свог рада открио да од свих апроксимативних полинома произвољне функције на интервалу $[-1, 1]$, најбољу минимизацију максималне грешке омогућава линеарна комбинација полинома који се данас називају *Чебишевљеви полиноми* (3). Проучавање ових и других функција које су решења једначина хипергеометријског типа довело је до савремених нумеричких метода [4 – 5]. Ортогонални полиноми су и својим пореклом и развојем везани за практичну примену.

Значај истраживања ове теме огледа се у великом броју импликација и примена тих истраживања, како у примењеној математици, тако и у многим другим областима науке.

Хипотеза: повезивање апстрактне математичке теорије са могућностима примене у решавању реалних проблема.

Зашто су ортогонални полиноми важни?

Применом ортогоналних полинома можемо да поједноставимо сложене математичке проблеме, као на пример да сложене функције изразимо као збир једноставнијих, што је посебно корисно у областима попут обраде сигнала и статистичке анализе. Користе се у:

- Теорији апроксимација: за апроксимацију функција помоћу коначног броја чланова;
- Нумеричкој интеграцији: за конструисање *Gauss-ових* квадратурних правила за нумеричку интеграцију;
- Решавању диференцијалних једначина;
- Инженерству: Од седамдесетих година прошлог века јављају се бројни патенти и практичне примене ортогоналних функција у електростатици, електроници, телекомуникацијама, адаптивном управљању, апроксимацији модела, дигиталној обради сигнала.

Циљ истраживања је да се прикажу нека од недавних истраживања ортогоналних полинома, са посебним нагласком на њихове аналитичке особине и теорију апроксимација.

Постоји више типова ортогоналних полинома, као што су: *Legendre-ови*, *Chebyshev-евљеви*, *Hermite-ови*, *Laguerre-ови*.

Legendre-ови полиноми се користе за решавање проблема везаних за сферне координате и гравитациони потенцијал.

Chebyshev-евљеви полиноми се користе у теорији апроксимација и веома су корисни у нумеричкој анализи.

Hermite-ови полиноми се често појављују у квантној механици и теорији вероватноће (4).

Користећи *Laguerre-ове* функције (филтре), било која функција или сигнал се може описати као бесконачна сума ортогоналних функција.

ОСОБИНЕ ОРТОГОНАЛНИХ ПОЛИНОМА

Како и сам назив каже, ортогонални полиноми су везани за појам ортогоналности у математици. Подсетимо се појма ортогоналности између вектора. Два вектора a и b су *ортогонална* ако је њихов унутрашњи производ $\langle a, b \rangle = 0$. У том случају, пројекција једног вектора на други је тачка и добијамо растојање једнако 0. Вектори су *ортонормирани* ако су међусобно ортогонални и сваки има норму 1.

Gram-Schmidt-ов поступак ортонормализације претвара линеарно независне векторе у ортонормиране векторе. Објаснимо ову процедуру на примеру.

Пример 1. Посматрајмо три вектора $a(1, -1, 1)$, $b(1, 0, 1)$, $c(1, 1, 2)$.
Ортонормирани вектори су: 1. $u = a = (1, -1, 1)$

$$2. v = b - \left(\langle b, u \rangle \cdot \frac{u}{\|u\|^2} \right) = \left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{3} \right)$$

$$3. w = c - \left(\langle c, u \rangle \cdot \frac{u}{\|u\|^2} \right) - \left(\langle c, v \rangle \cdot \frac{v}{\|v\|^2} \right) = \left(-\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2} \right).$$

Gram-Schmidt-ов поступак ортонормализације примењујемо и на полиноме да бисмо добили ортогоналне полиноме. На пример, примењујући поступак ортонормализације на $[1, x, x^2, \dots]$ добијамо фамилију ортогоналних полинома.

Дефиниција 1. (5) За фамилију полинома p_n , $n \in \mathbb{N}$ кажемо да је ортогонална на сегменту $[a, b]$, ако је њихов скаларни производ, у односу на тежинску функцију ω , $\omega(x) \geq 0$ на $[a, b]$, једнак нули, тј.

$$\langle p_n, p_m \rangle = \int_a^b p_n(x) p_m(x) \omega(x) dx = 0.$$

Норму полинома p на интервалу (a, b) , где је ω тежинска функција,

рачунамо на следећи начин:

$$\|p\| = \sqrt{\int_a^b \omega(x)p(x)^2 dx}.$$

Полиноме који су ортогонални и нормирани називамо *ортонормираним* полиномима.

Следећа теорема доказује егзистенцију ортогоналних низова полинома.

Теорема 1. (6) *За сваки произвољно изабрани сегмент $[a, b]$ и тежину $\omega(x) \geq 0$ постоји само један ортонормирани низ полинома који означавамо са $\{p_n^*\}_{n \in \mathbb{N}_0}$.*

Нека је $\{p_n\}_{n \in \mathbb{N}_0}$ низ ортогоналних полинома у односу на тежинску функцију ω на (a, b) . Важе следеће теореме:

Теорема 2. (6) *Између три узастопна полинома у низу $\{p_n\}_{n \in \mathbb{N}_0}$ постоји рекурентна релација*

(1.3)

$$p_{n+1}(x) - (\alpha_n x + \beta_n) p_n(x) + \gamma_n p_{n-1}(x) = 0$$

где су $\alpha_n, \beta_n, \gamma_n$ константе.

Теорема 3. (6) *Нека је $\{p_n^*\}_{n \in \mathbb{N}_0}$ ортонормиран низ полинома. Тада важи следећа сумациона формула*

(1.4)

$$\sum_{k=0}^n p_k^*(x)p_k^*(t) = \frac{1}{\alpha_n} \frac{p_{n+1}^*(x)p_n^*(t) - p_n^*(x)p_{n+1}^*(t)}{x - t}$$

где је α_n константа која се јавља у рекурентној релацији (1.4).

Формула (1.4) се назива *Christoffel–Darboux*-овом формулом. Први ју је извео *Christoffel* само за *Legendre*-ове полиноме, уопштење на ортогоналне полиноме са произвољном тежином дао је *G. Darboux* [стр. 96].

Ортогонални полиноми се могу дефинисати користећи функцију изводница. Општи облик функција изводница за ортогоналне полиноме је

$$G = \sum_{i=0}^{\infty} a_i p_i(x) t^i,$$

где је (a_i) низ реалних бројева. (5)

Нека је $\{p_n\}_{n \in \mathbb{N}_0}$ низ ортогоналних полинома у односу на тежинску функцију ω на (a, b) . Ортогонални полиноми задовољавају диференцијалну једначину:

$$p_2(x)y'' + p_1(x)y' + p_0(x)y = 0,$$

где су p_0, p_1 и p_2 полиноми који одговарају различитим врстама ортогоналних полинома. (5)

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Научна истраживања почињу сакупљањем чињеница и података потребних за доказивање или оповргавање постављене хипотезе.

Процес научног истраживања спроведен је у више корака применом следећих метода:

- Индуктивна метода – на основу анализе доступне литературе и примера изведени су општи закључци који воде ка формулисању хипотезе. (Хипотеза: повезивање апстрактне математичке теорије са могућностима примене у решавању реалних проблема).
- Метода компилације – често се користи у научно-истраживачким радовима, а односи се на интегрисање информација добијених из различитих извора у јединствену целину, са циљем омогућавања ефикаснијег прегледа досадашњих научних резултата који су релевантни за дату тему.
- Обрада података и систематизација добијених у претходним корацима.
- Синтеза изложених чињеница – доводи до закључка рада.

У раду се примењује диференцијални и интегрални рачун. Писање овог математичког рада захтева једноставне симболе, неке од њих нам је подарио славни математичар *Lajbnic* нам је подарио ознаке d за диференцијале и $\int$ за интеграле. (7) Позната је изјава *Lajbnica*: „Све сам више уверен у корисност и озбиљност ове науке и видим да је врло мало људи схватило њене размере. Та се карактеристика састоји од одређеног писма или језика. Незналица неће моћи да употребљава то писмо или ће у покушају да се њиме служи постати учен” [стр. 10]. Математички текст који је написан једноставно лакше се разуме и примењује у решавању реалних проблема.

РЕЗУЛТАТИ

Научни истраживачки подаци су расути и треба их одређеним системом

прикупити.

Улога научних података је да се научни истраживачи информишу о томе докле је стигла научна теорија у вези са одабраним предметом истраживања, како би се на основу тог прикладно лоцирало ново научно истраживање.

Legendre-ови полиноми

Дефиниција 2. (5) Полиноми $P_0(x), P_1(x), \dots, P_n(x), \dots$ су *Legendre-ови* полиноми, ако су ортогонални у односу на тежинску функцију $p(x) = 1$ на интервалу $(a, b) = [-1, 1]$. [стр. 29].

Legendre-ова диференцијална једначина има облик

$$(1 - x^2)y'' - 2xy' + k(k + 1)y = 0.$$

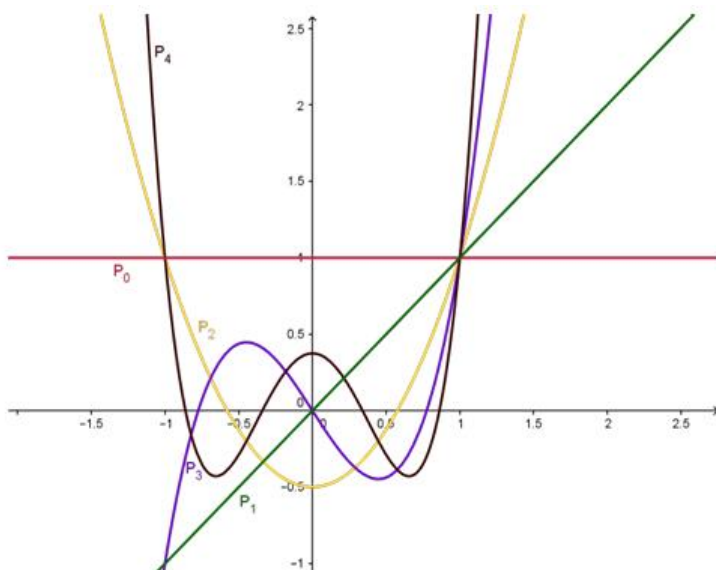
чије је једно партикуларно решење *Legendre-ов* полином

$$P_k(x) = \frac{1}{2^k} \sum_{i=0}^{\frac{k}{2}} (-1)^i \binom{k}{i} \binom{2k-2i}{k} x^{k-2i}$$

за који важи

$$P_k(-x) = P_k(x), \quad P_k(\pm 1) = (\pm 1)^k, \quad P_{2k}(0) = (-1)^k \frac{\left(\frac{1}{2}\right)_k}{k!}.$$

Пример 2. (5) Првих неколико *Legendre-ових* полинома су:



Слика бр. 1 Првих пет *Legendre-ових* полинома

$$\begin{aligned}
P_0(x) &= 1, \\
P_1(x) &= x, \\
P_2(x) &= \frac{1}{2}(3x^2 - 1), \\
P_3(x) &= \frac{1}{2}(5x^3 - 3x), \\
P_4(x) &= \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3), \\
P_5(x) &= \frac{1}{8}(63x^5 - 70x^3 + 15x).
\end{aligned}$$

Следећа формула изражава чињеницу да *Legendre-ovi* полиноми $P_0(x), P_1(x), \dots$ представљају ортогоналан систем функција на сегменту $[-1, 1]$. Релација (2.1) је карактеристична за *Legendre-ове* полиноме [21 – 22].

(2.1)

$$\int_{-1}^1 P_m(x)P_n(x)dx = \frac{2}{2n+1} \delta_{mn} \quad (m, n = 0, 1, 2, \dots).$$

Чебишевљеви полиноми

(2.6)

$$T_n(x) = \sum_{k=0}^{\lfloor n/2 \rfloor} (-1)^k \frac{n}{n-k} \binom{n-k}{k} 2^{n-2k-1} x^{n-2k} \quad (n \geq 1) \quad T_0(x) = 1.$$

Полиноми (2.6) зову се *Чебишевљеви* полиноми.

Чебишевљева диференцијална једначина:

$$(1 - x^2)y'' - xy' + n^2y = 0.$$

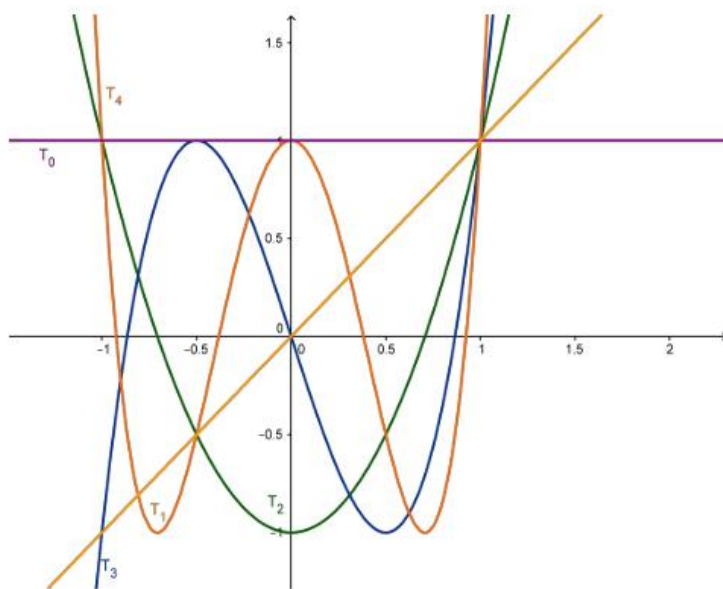
Једно њено партикуларно решење је полином T_n , а друго:

$$U_n(x) = \sin(n \cos^{-1} x).$$

Чебишевљеви полиноми прве врсте дефинисани су идентитетом $T_n(\cos \theta) = \cos(n\theta)$. (5) Након увођења смене $x = \cos \theta$, долазимо до формуле за израчунавање *Чебишевљевих* полинома прве врсте:

$$T_n(x) = \cos(n \arccos x).$$

Пример 3. (5) Неколико првих Чебишевљевих полинома су:



Слика бр. 2 Првих пет Чебишевљевих полинома

$$T_0(x) = 1,$$

$$T_1(x) = x,$$

$$T_2(x) = 2x^2 - 1,$$

$$T_3(x) = 4x^3 - 3x,$$

$$T_4(x) = 8x^4 - 8x^2 + 1,$$

$$T_5(x) = 16x^5 - 20x^3 + 5x.$$

Хермите-ови полиноми

Хермите је 1864. године дефинисао полиноме H_n . (6) Међутим, још 1859. Чебишев је дефинисао полиноме H_n и стога их у руској математичкој литератури називају Чебишев-Хермитеови полиноми.

H_n се може изразити у облику:

$$H_n(x) = \sum_{k=0}^{[n/2]} \frac{(-1)^k n!}{k! (n-2k)!} (2x)^{n-2k}.$$

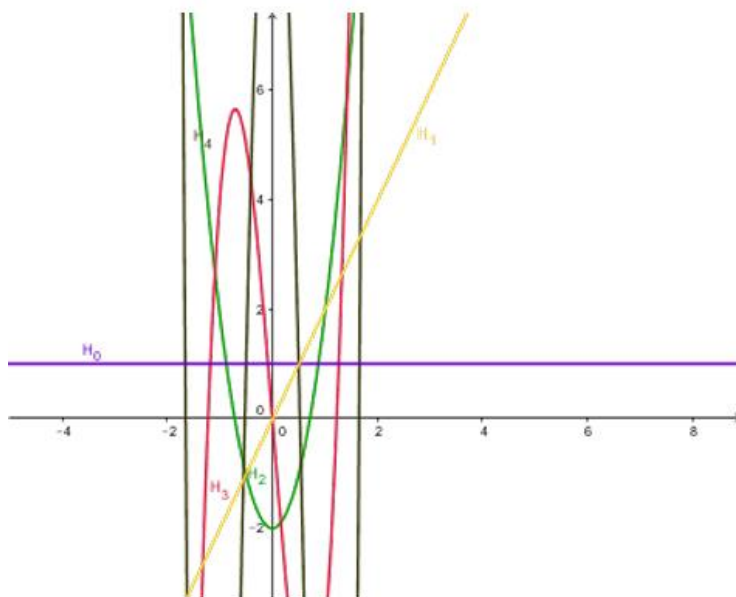
H_n је полином степена n и назива се Хермите-ов полином.

За Хермите-ове полиноме H_m и H_n важи формула:

(3.1)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} H_m(x) H_n(x) dx = 2^n n! \sqrt{\pi} \delta_{mn}.$$

Пример 4. (5) Првих неколико Хермите-ових полинома



Слика бр. 3 Првих пет Хермите-ових полинома

$$H_0 = 1,$$

$$H_1(x) = 2x,$$

$$H_2(x) = 4x^2 - 2,$$

$$H_3(x) = 8x^3 - 12x,$$

$$H_4(x) = 16x^4 - 48x^2 + 12,$$

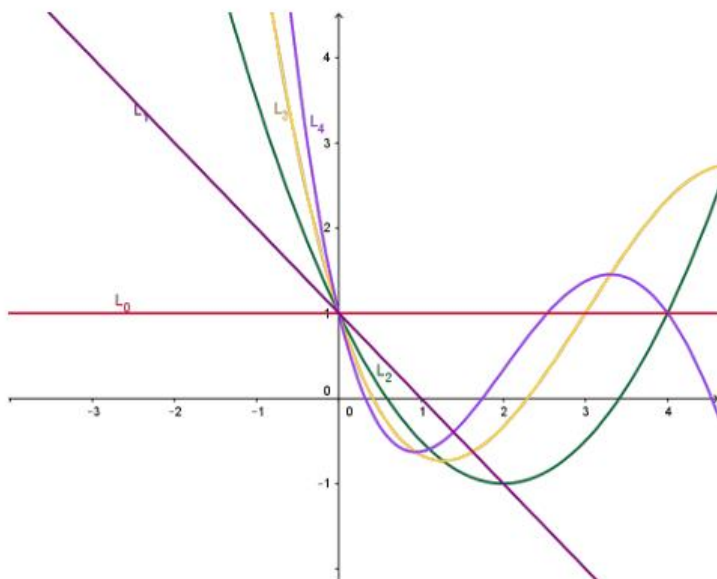
$$H_5(x) = 32x^5 - 160x^3 + 120x.$$

Laguerre-ови полиноми

$$L_n(x) = (-1)^n \left(x^n - \frac{n^2}{1!} x^{n-1} + \frac{n^2(n-1)^2}{2!} x^{n-2} + \dots + (-1)^n n! \right).$$

L_n је полином n степена и назива се *Laguerre-ов полином*, а $t \rightarrow f(t)$ генератриса *Laguerre-ових* полинома. Полином L_n дефинисао је 1879. француски математичар *E. Laguerre*. (6)

Пример 5. (5) Неколико првих *Laguerre*-ових полинома су:



Слика бр. 4 Првих пет *Laguerre*-ових полинома

$$\begin{aligned} L_0(x) &= 1, \\ L_1(x) &= 1 - x, \\ L_2(x) &= 2 - 4x + x^2, \\ L_3(x) &= 6 - 18x + 9x^2 - x^3, \\ L_4(x) &= 24 - 96x + 72x^2 - 16x^3 + x^4. \end{aligned}$$

$$\int_0^{+\infty} e^{-x} L_m(x) L_n(x) dx = (n!)^2 \delta_{mn}.$$

За функције $x \rightarrow L_m(x)$ и $x \rightarrow L_n(x)$ каже се да су ортогоналне у интервалу $(0, +\infty)$ са тежином e^{-x} . (6)

ДИСКУСИЈА

Сви претходно наведени резултати недвосмислено указују да је хипотеза коју смо поставили на почетку истраживања тачна. Да бисмо образложили закључак до којег смо дошли, у овом одељку ћемо детаљно дискутовати о неким од

најзначајнијих примена ортогоналних полинома како у математици, тако и ван ње. С обзиром на то да је овде истакнут интердисциплинарни приступ, наредна образложења могу иницирати евентуалне нове токове истраживања и у другим наукама, те стога опширну дискусију добијених резултата сматрам не само оправданом, него и пожељном.

Примене ортогоналних полинома *Gauss-ове* квадратурне формуле

Gauss-ова интеграцијско правило, названо по *Carlu Friedrichu Gaussu*, је интеграцијско правило конструисано да даје тачан резултат за полиноме степена $2n - 1$ или мање, одабиром одговарајућих чворова x_i и тежинских функција p_i за вредности $i = 1, \dots, n$. Модерна формулација која користи ортогоналне полиноме развијена је од стране *Carl Gustava Jacobi* 1826. године. *Gauss-ова* интеграција се заснива на следећој формули:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \sum_{i=1}^n p_i f(x_i)$$

где је $f(x)$ ненегативна функција која је интегрална на интервалу $[a, b]$. Може се показати да су квадратурни чворови x_i корени полинома који припада класи ортогоналних полинома. (8)

Код поделе *Gauss-ових* интеграцијских правила, најважнији појам је тежинска функција, јер она одређује како су различити делови интервала интеграције пондерирани. (8)

Други појам је интервал интеграција, где су неки интервали ограничени, попут $[-1, 1]$, други су бесконачни $[0, \infty)$. Зависно од наведених својстава, постоје различита *Gauss-ова* интеграцијска правила, од којих су нека најпознатија наведена у Табели бр. 1. [22 – 23].

Тежинска функција	Интервал	Интеграцијско правило
1	$[-1, 1]$	<i>Gauss-Legendre</i>
$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	$[-1, 1]$	<i>Gauss-Čeбиšev</i>
$\sqrt{1-x^2}$	$[-1, 1]$	<i>Gauss-Čeбиšev 2. vrste</i>
e^{-x}	$[0, \infty)$	<i>Gauss-Laguerre</i>
e^{-x^2}	$(-\infty, +\infty)$	<i>Gauss-Hermite</i>

Табела бр. 1 Различите *Gauss-ове* интеграцијске формуле

Ентропија

Теорија информација је научна дисциплина заснована на вероватноћи и статистици, а бави се нумеричким одређивањем количине информација у системима (9).

Занимљив је случај када је $\rho(x) = |\Psi(x)|^2$, где је $\Psi(x)$ таласна функција у квантномеханичком систему. Тада се таласна функција може изразити помоћу ортогоналних полинома, а приликом рачунања појављују се интеграл облика:

$$E(p_\mu) = - \int_a^b [p_\mu(x)]^2 \log[p_\mu(x)]^2 \omega(x) dx ,$$

где је $\{p_\mu(x), \mu \in \mathbb{N}\}$ фамилија ортогоналних полинома на сегменту $[a, b] \subset \mathbb{R}$, $\omega(x) \geq 0, \forall x \in [a, b]$, тежинска функција [стр. 22].

Laguerre-ови филтери

Laguerre-ове функције се користе у обради сигнала и анализи система где се користе за декомпозицију сигнала (10). Чињеница је да је њихов *Laplace-ов* трансформат коначнодимензионална рационална функција. То омогућава њихову коначнодимензионалну реализацију у простору стања, која у облику филтера омогућава примену у реалном времену.

Приликом управљања аутономним летелицама, велики је проблем појава вањских утицаја попут ветра, које за последицу имају смањење тачности слеђења референтне трајекторије. *Laguerre-ови* филтери су заправо нека врста универзалних апроксиматора заданих сигнала или параметара динамичких система [1 – 3].

ЗАКЉУЧАК

Ортогонални полиноми имају широку примену у науци и инжерњерству.

Ортогоналне функције, као што су *Lagrange-ове* и *Hermite-ове* функције се користе за декомпозицију сигнала. Једна од посебно занимљивих функција које се користе у аутоматизи су *Laguerre-ове* функције.

Апроксимација преносне функције филтра² ниских фреквениција је заснована на једноставној адаптацији ортогоналних Јасобије-вих полинома. (10)

Gauss-ова интеграција представља моћан нумерички алат за апроксимацију

² Електрични филтри су кола која обликују фреквенцијски спектар улазног електричног сигнала на основу прописаних захтева.

интеграла, користећи посебно одабране тачке и тежинске функције како би се постигла максимална тачност уз минималан број рачуна.

Из свих наведених разлога, изучавање особина ортогоналних полинома је од велике важности. Ортогонални полиноми представљају везу математике са инжењерским дисциплинама.

Литература

- [1] **Matejić, M.** *Razvoj racionalnih algoritama za konstrukciju ortogonalnih polinoma jedne promenljive, doktorska disertacija.* Kragujevac: Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, 2016.
<https://ff.unze.ba/nabokov/seminarskiRadovi/zborniciRadova/Ortogonalni%20polinomi%20za%20zbornik%20radova%20v3.pdf>
- [2] **Šobić, J.** *Diferencijalne jednačine u nastavi matematike, master rad*, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu. Beograd: s.n., 2012.
<http://elibrary.matf.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/5142/Master.pdf?sequence=1>
- [3] **Milojković, M.** *Primena ortogonalnih funkcija u modeliranju dinamičkih sistema i upravljanju sistemima sa fazi kliznim režimima, doktorska teza, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu.* 2011. <http://phaidrani.ni.ac.rs/o:827>
- [4] **A. I. Aptekarev, S. A. Denisov, M. L. Yattselev.** *Strong Asymptotics of Multiple Orthogonal Polynomials for Angelesco Systems. Part I: Non-Marginal Directions.* 2024.
<https://arxiv.org/abs/2404.14391>
- [5] **Volmut, V.** *Ortogonalni polinomi, diplomski rad.* s.l.: Sveuciliste Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za matematiku, 2018.
<https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/mathos%3A87/datastream/PDF/view>
- [6] **Mitrinović, D.S.** *Uvod u SPECIJALNE FUNKCIJE.* Beograd: Građevinska knjiga, 1972.
- [7] *Tretiranje podataka u naučnim istraživanjima.* **prof. dr Tihomir Radovanović, dr Marko Filijović, prof. dr Pavle Radanov.** Pirot: Regionalni razvoj i prekogranična saradnja, zbornik radova, decembar 2021. <https://www.konferencija2021.komorapirot.com/pdf/Zbornik2021.pdf>
- [8] **Žefran, D.** *Gaussova integracija, završni rad.* Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, rujan 2024. <https://repository.riteh.uniri.hr/islandora/object/riteh%3A4667/datastream/PDF/view>
- [9] **Ujić, N.** *Gegenbauerovi polinomi, završni rad.* Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, 2021.
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/mathos%3A549/datastream/PDF/view>
- [10] **Kantolić, D.** *Upravljanje autonomnim letjelicama primjenom adaptivnih Laguerreovih filtera.* Zagreb: Sveuciliste u Zagrebu, Fakultet Strojarstva i brodogradnje, 2019.
<https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A5023/datastream/PDF/view>

ORTHOGONAL POLYNOMIALS

Author: DRAGANA KOJIĆ

Email: dragana.kojic@student.ffuis.edu.ba

Mentor: Full Prof. Vidan Govedarica

Faculty of Philosophy, University of East Sarajevo

Introduction: Classical orthogonal polynomials such as the Legendre, Laguerre, Hermite, and Chebyshev polynomials have a wide range of applications across various domains of science and engineering.

Aim: The aim of this research paper is to present selected recent developments in the theory of orthogonal polynomials, with particular emphasis on their analytical properties and their role in approximation theory.

Methods: The study employs a combined quantitative-qualitative research methodology. It is based on the analysis of relevant scientific literature, from which data significant to the subject matter were collected, interpreted, and systematically examined.

Results: The results indicate that contemporary research in probability theory, graph theory, coding theory, and related areas increasingly relies on the theory of orthogonal polynomials. This paper provides a theoretical analysis of the connection between orthogonal polynomials and their applications in specific computational problems. Fundamental properties of these polynomials are presented and illustrated through selected examples that contribute to a clearer understanding of their structure and practical relevance.

Conclusion: The approximation of the transfer function of a low-pass filter can be achieved through a straightforward adaptation of orthogonal Jacobi polynomials. Furthermore, Gaussian quadrature represents a powerful numerical technique for the approximation of definite integrals, utilizing optimally chosen nodes and weight functions to achieve high accuracy with minimal computational effort. Orthogonal polynomials thus serve as a significant link between pure mathematics and engineering disciplines, highlighting the importance of further study on their properties and applications.

Keywords: orthogonal polynomials; differential equations; orthogonal functions

APSTRAKTI

UTICAJ PRAJMINGA SJEMENA HITOSANOM NA OTPORNOST PŠENICE NA STRES IZAZVAN POPLAVOM

Autor: ANASTAZIJA ZRNIC, Hristina Letić, Jelena Bojinović

e-mail: anastazija.zrnic@student.pmf.unibl.org

Mentor: prof. dr Biljana Kukavica

Studijski program biologija

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Uvod: U savremenoj poljoprivredi jedan od najvećih izazova za uzgoj pšenice je poplava, koja značajno umanjuje klijavost, rast i prinos biljke. Prajming (tretman) sjemena predstavlja efikasnu tehniku za unapređenje otpornosti biljaka.

Cilj: Ispitivanje uticaja tretmana sjemena pšenice hitosanom na odgovor biljaka pšenice na kratkotrajnu poplavu.

Materijal i metode: Eksperiment je podrazumijevao potapanje sjemena pšenice, sorte nova bosanka, u rastvor hitosana (H, 2,5 mg/mL) tokom 24 h dok su kontrolna sjemena bila u destilovanoj vodi. Nakon prajminga, sjemena su zasađena u zemlju. Biljke su rasle u optimalnim laboratorijskim uslovima sedam dana, nakon čega je dio biljaka izložen poplavi (P) u trajanju od sedam dana, a dio biljaka je i dalje rastao u optimalnim uslovima. U listovima četiri grupe uzoraka (KK – netretirana sjemena i netretirane biljke; HK – tretirana sjemena, netretirane biljke; KP – kontrolna sjemena, tretirane biljke; HP – tretirana sjemena i tretirane biljke) spektrofotometrijski je određen sadržaj fotosintetičkih pigmenata, koncentracija solubilnih proteina, aktivnost peroksidaza klase III (POX) i sadržaj fenolnih jedinjenja.

Rezultati: Sadržaj solubilnih proteina je bio veći kod KK (2,860 mg/gFW $\pm$ 0,104) u odnosu na KP (2,455 mg/gFW $\pm$ 0,07), kao i kod uzoraka HK (2,564 mg/gFW $\pm$ 0,084) u odnosu na uzorke HP (1,805 mg/gFW $\pm$ 0,045). Najveća koncentracija ukupnog hlorofila izmjerena je kod uzoraka KP, dok je tretman sjemena hitosanom doveo do smanjenja koncentracije. Aktivnost POX se značajno razlikovala između kontrolnih i tretiranih biljaka, pri čemu je najveća aktivnost izmjerena kod uzoraka HP, a najmanja kod uzoraka KK. Sadržaj fenolnih jedinjenja je bio najveći kod HK biljaka.

Zaključak: Dobijeni rezultati ukazuju na to da bi hitosan kao prajming agens sjemena pšenice mogao povećati toleranciju biljaka pšenice na poplavu djelujući na antioksidativni sistem.

Ključne riječi: fenolna jedinjenja, nova bosanka, solubilni proteini, POX, hipoksija.

EFFECT OF CHITOSAN SEED PRIMING ON WHEAT PLANTS' RESISTANCE TO FLOODING

Authors: ANASTAZIJA ZRNIĆ, Hristina Letić, Jelena Bojinović

Email: anastazija.zrnic@student.pmf.unibl.org

Mentor: Full Prof. Biljana Kukavica

Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka

Introduction: In modern agriculture, one of the greatest challenges in wheat cultivation is flooding, which significantly reduces germination, growth, and yield of the plant. Seed priming (pretreatment) represents an effective technique for enhancing plant resistance.

Aim: To investigate the effect of wheat seed treatment with chitosan on the response of wheat plants to short-term flooding.

Materials and Methods: Wheat seeds, variety Nova Bosanka, were sown in a chitosan (CH) solution (2.5 mg/mL) for 24 hours, while control seeds were soaked in distilled water. After priming, the seeds were planted in soil. Plants were grown under optimal laboratory conditions for seven days, after which a part of the plants was exposed to flooding (F) for seven days, while the remaining plants continued to grow under optimal conditions. In leaves of four groups of samples (CC – control seeds, control plants; CHC – treated seeds, control plants; CF – control seeds, flooded plants; CHF – treated seeds, flooded plants), the content of photosynthetic pigments, soluble protein concentration, peroxidase class III (POX) activity, and phenolic compound content was spectrophotometrically determined.

Results: The content of soluble proteins was higher in CC ($2.860 \text{ mg/gFW} \pm 0.104$) compared to CF ($2.455 \text{ mg/gFW} \pm 0.07$), as well as in CHC ($2.564 \text{ mg/gFW} \pm 0.084$) compared to CHF ($1.805 \text{ mg/gFW} \pm 0.045$). The highest concentration of total chlorophyll was measured in CF samples, while seed treatment with chitosan led to a reduction in the concentration. POX activity differed significantly between control and treated plants, with the highest activity recorded in CHF samples and the lowest in CC samples. The phenolic compound content was the highest in CHC plants.

Conclusion: The results obtained indicate that chitosan, as a seed priming agent in wheat, could enhance wheat tolerance to flooding by acting on the antioxidant system.

Keywords: phenolic compounds; Nova Bosanka; soluble proteins; POX; hypoxia

EKONOMIČNA SINTEZA ZEOLITA X TIPFAU IZ OTPADNE MIKROSILIKE I ALUMINIJUMSKE FOLIJE

Autori: BOŽIDAR ILIĆ, Alenka Ristić, Jan Marčec, Saša Zeljković

e-mail: bozidar.ilic@student.pmf.unibl.org

Mentor: prof. dr Saša Zeljković

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Uvod: Zeoliti su grupa kristalnih mikroporoznih alumosilikata sa izuzetnim svojstvima koja omogućavaju njihovu primjenu u različitim oblastima. Iako se zeoliti često nalaze u prirodi, nečistoće u njima mogu ograničiti njihovu upotrebu. Zbog toga se često upotrebljavaju sintetički zeoliti. Njihova svojstva se mogu prilagoditi specifičnim primjenama, podešavanjem uslova sinteze kao što su molarni odnos Si/Al, temperature sinteze, vremena i redoslijeda dodavanja reaktanata. Takvom kontrolom moguće je dobiti zeolite različitih topologija (SOD, FAU, GIS, LTA, itd.) i svojstava.

Cilj: Razviti održivu i ekonomičnu sintezu zeolita X (FAU tip) korišćenjem otpadnih materijala kao sirovina, uz optimizaciju uslova sinteze radi dobijanja proizvoda pogodnog za dalju primjenu.

Materijal i metode: Zeolit X je sintetisan korišćenjem otpadne mikrosilike kao izvora silicijuma i otpadne aluminijumske folije kao izvora aluminijuma. Prije formiranja gela, prekursori su rastvoreni u rastvoru NaOH, nakon čega su rastvori sjedinjeni i ostavljeni da se miješaju. Nakon određenog vremena, pripremljeni gel je prebačen u plastičnu bocu. Da bi se dobio željeni FAU zeolit, primijenjena je metoda zasijavanja radi indukcije kristalizacije i rasta kristala. Nakon dodavanja sjemena komercijalnog zeolita 13X u bocu sa gelom, boca je stavljena u sušionik na 100°C tokom 16 ili 24 sata. Dobijeni čvrsti proizvodi su zatim isprani, filtrirani i sušeni u sušioniku na 100°C tokom jednog sata.

Rezultati: Analiza uzoraka metodom rendgenske difrakcije (XRD) potvrdila je prisustvo željene FAU faze, uz dodatne pikove GIS faze i manju količinu amorfnog sadržaja, u zavisnosti od vremena kristalizacije.

Zaključak: Ovi rezultati prikazuju uspješnu upotrebu otpadnih materijala kao sirovina za sintezu zeolita, doprinoseći cirkularnoj ekonomiji i održivim praksama. Dalja istraživanja biće usmjerena na optimizaciju postupka sinteze i primjenu zeolita u različitim oblastima.

Ključne riječi: zeolit X, otpadna mikrosilika, otpadna aluminijumska folija, hidrotermalna sinteza, iskorišćenje industrijskog

LOW-COST FAU-TYPE ZEOLITE X SYNTHESIS FROM SILICA FUME AND ALUMINUM FOIL WASTE

Authors: BOŽIDAR ILIĆ, Alenka Ristić, Jan Marčec, Saša Zeljković

Email: bozidar.ilic@student.pmf.unibl.org

Mentor: Full Prof. Saša Zeljković

Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka

Introduction: Zeolites are a group of crystalline microporous aluminosilicates with exceptional properties that enable their use in various fields. Although zeolites are commonly found in nature, impurities in them can limit their applications. Therefore, synthetic zeolites are usually favored, as their properties can be tailored to specific applications by adjusting the synthesis conditions, e.g., Si/Al ratio, synthesis temperature, time and the order of adding the reactants. By such control, zeolites with different topologies (SOD, FAU, GIS, LTA, etc.) and properties can be obtained.

Aim: To develop a sustainable and cost-effective synthesis of zeolite X (FAU type) using waste materials as raw sources, with optimization of the synthesis conditions to obtain a product suitable for further application.

Materials and Methods: Zeolite X was synthesized using waste microsilica as the silicon source and waste aluminum foil as the aluminum source. Prior to gel preparation, the precursors were dissolved in NaOH solution, after which the solutions were combined and left to stir. After a certain amount of time, the prepared gel was transferred into a plastic bottle. To obtain the desired FAU zeolite, a seeding approach was employed to induce crystallization and crystal growth. After adding seeds of commercial Zeolite 13X to the gel in the bottle, the bottle was placed in an oven at 100 °C for 16 h or 24 h. The resulting solids were washed, filtered, and oven-dried at 100 °C for 1 h.

Results: The powder X-ray diffraction (XRD) analysis revealed the desired FAU phase, with some additional peaks of the GIS phase and a minor amorphous component, depending on the crystallization time.

Conclusion: These results demonstrate a successful utilization of waste materials as raw sources for zeolite synthesis, contributing to the circular economy and sustainable practices. Further work will focus on optimization of the synthesis procedure and application of the zeolite in different fields.

Keywords: zeolite X; silica fume; aluminum foil waste; hydrothermal synthesis; industrial waste utilization

GIS ANALIZA UTICAJA POŽARA NA VEGETACIJU KORIŠĆENJEM NDVI: STUDIJA SLUČAJA SPECIJALNOG REZERVATA PRIRODE „CARSKA BARA”, SRBIJA

Autor: NATALIJA NIKOLIĆ

e-mail: natalija.nikolic@dgt.uns.ac.rs

Mentor: doc. Dajana Bjelajac

Departman za regionalnu geografiju

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu

Uvod: Požari u zaštićenim područjima dovode do oštećenja i uništenja vegetacije, kao i do ugrožavanja života životinjskih vrsta. U požaru koji se desio u neposrednoj blizini Specijalnog rezervata prirode (SRP) i Ramsarskog područja „Carska bara”, kod Zrenjanina (severna Srbija) 15. oktobra 2018. godine zahvaćeno je oko 800 ha, od čega je deo obuhvatio severoistočne prostore ovog zaštićenog područja.

Cilj: Cilj rada je proučiti koji su delovi SRP-a najintenzivnije bili zahvaćeni požarom, te time proširiti znanje o uticaju ovog požara na zaštićeno područje, kao i proučiti koji su procesi doveli do nastanka požara.

Materijal i metode: Sentinel-2A satelitski snimci od pre (14. oktobar 2018.) i posle (29. oktobar 2018.) požara korišćeni su u analizi. U programu QGIS 3.40 satelitski snimci su isečeni po granicama zaštićenog područja. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) predstavlja indikator zelenila i zdravlja vegetacije. Računa se kao odnos razlike i zbira reflektovanog zračenja u bliskom infracrvenom (NIR, Sentinel-2A Band 8) i crvenom (RED, Sentinel-2A Band 4) spektralnom opsegu. Veće vrednosti predstavljaju zdraviju i gušću vegetaciju. Oduzimanjem vrednosti NDVI pre i posle požara, dobija se dNDVI (differenced NDVI), koji pokazuje koji prostori su bili najintenzivnije zahvaćeni požarom.

Rezultati: Analiza pokazuje da je 1,88% teritorije SRP-a bilo zahvaćeno požarom veoma visokog intenziteta, a još 5,92% visokog intenziteta. Ostale površine mogu se smatrati neizgorelim. Iako postoje promene u vrednostima NDVI između dva satelitska snimka, one su uglavnom rezultat fenoloških promena koje se prirodno javljaju u jesenjem periodu.

Zaključak: Požari u Srbiji najčešće se javljaju kao posledica paljenja poljoprivrednih površina. Trebalo bi unaprediti brzinu reagovanja hitnih službi u periodima najintenzivnijih požara, naročito u blizini zaštićenih područja, koja su najranjivija u hazardnim situacijama.

Ključne reči: GIS, daljinska detekcija, Sentinel-2A, zaštićena područja.

GIS ANALYSIS OF FIRE IMPACT ON VEGETATION USING NDVI: A CASE STUDY OF THE SPECIAL NATURE RESERVE “CARSKA BARA”, SERBIA

Author: NATALIJA NIKOLIĆ

Email: natalija.nikolic@dgt.uns.ac.rs

Mentor: Assist. Prof. Dajana Bjelajac

Faculty of Sciences, University of Novi Sad

Introduction: Wildfires in protected areas lead to damage and destruction of vegetation and endanger wildlife. The wildfire that occurred in the immediate vicinity of the Special Nature Reserve (SNR) and Ramsar site “Carska Bara” near Zrenjanin (northern Serbia) on October 15, 2018, affected approximately 800 ha, part of which extended into the northeastern sections of this protected area.

Aim: The aim of this study is to identify which parts of the SNR were most severely affected by the wildfire, thereby contributing to the understanding of its impact on the protected area, as well as examining the processes that led to the occurrence of the wildfire.

Materials and Methods: Sentinel-2A satellite images acquired before (October 14, 2018) and after (October 29, 2018) the fire were used in the analysis. The images were clipped to the boundaries of the protected area using QGIS 3.40. The NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) represents an indicator of vegetation greenness and health. It is calculated as the ratio between the difference and the sum of reflectance in the near-infrared (NIR, Sentinel-2A Band 8) and red (RED, Sentinel-2A Band 4) spectral bands, where higher values indicate healthier and denser vegetation. By subtracting NDVI values before and after the fire, the differenced NDVI (dNDVI) was obtained, which highlights the areas most severely affected by the fire.

Results: The analysis shows that 1.88% of the SNR territory was affected by a wildfire of very high intensity, and an additional 5.92% by a high-intensity wildfire. The remaining areas can be considered unburned. Although changes in NDVI values are observed between the two satellite images, they are mostly the result of phenological variations that naturally occur during the autumn period.

Conclusion: Wildfires in Serbia most often occur as a consequence of agricultural land burning. It is necessary to improve the response time of emergency services during peak wildfire periods, especially in the vicinity of protected areas, which are the most vulnerable in hazardous situations.

Keywords: GIS; remote sensing; Sentinel-2A; protected areas