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

19. Naučno-stručni skup

Studenti u susret nauci – StES 2026

ZBORNIK RADOVA

Prirodne nauke

19th scientific conference

Students encountering science – StES 2026

PROCEEDINGS

Natural Sciences

Banja Luka
2026.

Izdavači:
Univerzitet u Banjoj Luci

Studentski parlament Univerziteta u Banjoj Luci

Za izdavače:
Prof. dr Aleksandar Ostojić
Milan Stupar

Urednik:
Valentina Knežević

Lektor za srpski jezik:
Ana Čugalj Matić

Lektor za engleski jezik:
Dejan Milinović
Milica Guzijan

Štampa:
Mikro print s.p. Banja Luka

Tiraž:25

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:

Prof. dr Dušica Pešević, prof. dr Tatjana Popov, prof. dr Goran Trbić, prof. dr Tanja Maksimović, prof. dr Dušanka Marčetić, prof. dr Siniša Vučenović, prof. dr Zvjezdana Sandić, dr Ivana Matić, ma Mirjana Marković

SADRŽAJ

RADOVI:

ANJA SAMARDŽIJA, KLIMATSKE PROMJENE U PLANINSKIM PODRUČJIMA BOSNE I HERCEGOVINE I IMPLIKACIJE NA ZIMSKI TURIZAM 7

IVONA IVETIĆ, BIOLOŠKA AKTIVNOST EKSTRAKTA LISTA SMOKVE (Ficus carica L.): ANTIOKSIDATIVNI KAPACITET I SPOSOBNOST INHIBICIJE ALFA-AMILAZE 19

MILAN MILETIĆ, Jovana Vuletić, PROSTORNA DISTRIBUCIJA DIVLJIH DEPONIJA NA TERITORIJI JABLANIČKOG UPRAVNOG OKRUGA 35

NINA KUTIĆ, UPOTREBA GENBANK BAZE PODATAKA U KONZERVACIONOJ GENETICI: PREGLED DOSTUPNIH SEKVENCI I NJIHOVA PRIMJENA NA PRIMJERU VRSTE LYNX LYNX 49

APSTRAKTI:

MIHAJO ZORIĆ, Milica Bogdanović, SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NOVOG Ni(II) KOMPLEKSA SA PNO DONOSKOM ŠIFOVOM BAZOM 65

MILICA RAKOVIĆ, SAMOUSAGLAŠENA BORNOVA APROKSIMACIJA ZA APSORPCIONE SPEKTRE MOLEKULARNIH AGREGATA 67

RADOVI

https://doi.org/10.63356/stes.nat.2026.001 УДК 551.583:338.483(497.6)

KLIMATSKE PROMJENE U PLANINSKIM PODRUČJIMA BOSNE I HERCEGOVINE I IMPLIKACIJE NA ZIMSKI TURIZAM

Autor: ANJA SAMARDŽIJA
e-mail: anja.samardzija@student.pmf.unibl.org
Studijski program geografija
Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Uvod: Klimatske promjene predstavljaju jedan od glavnih faktora promjene prirodnih uslova, naročito u osjetljivim planinskim područjima. Planinska područja Bosne i Hercegovine predstavljaju važan potencijal za razvoj zimskog turizma, iako je njegov razvoj determinisan prirodnim uslovima.

Cilj: U radu se analiziraju trendovi zimskih temperatura vazduha, padavina i snježnog pokrivača u periodu 1961–2020. godine na meteorološkim stanicama Sokolac, Čemerno i Bjelašnica, s ciljem utvrđivanja promjena klimatskih uslova značajnih za zimski turizam i sagledavanja njihovih mogućih implikacija na razvoj zimskog turizma u Bosni i Hercegovini.

Materijal i metode: Podaci o temperaturama vazduha, padavinama i snježnom pokrivaču preuzeti su sa sajta Hidrometeorološkog zavoda Republike Srpske i Federalnog hidrometeorološkog zavoda. Promjene navedenih klimatskih elemenata ispitane su primjenom *Mann–Kendall* testa za utvrđivanje postojanosti trendova i *Sen-ove* metode za procjenu veličine nagiba trenda, sa posebnim osvrtom na zimsku (DJF) i turističku sezonu (novembar–april).

Rezultati: Rezultati pokazuju značajan porast srednje temperature vazduha u Sokocu za 0,5 °C po deceniji u sezoni zima, odnosno 0,4 °C u turističkoj sezoni (novembar–april), te značajan pozitivan trend na meteorološkoj stanici Čemerno od 0,3 °C po deceniji u obe analizirane sezone, dok na Bjelašnici nema značajnijih trendova porasta. Padavine uglavnom pokazuju insignifikantne trendove, dok je značajan pozitivan trend zabilježen jedino na Bjelašnici. Posebno značajan rezultat predstavlja smanjenje broja dana sa snježnim pokrivačem koje je najizraženije na području Sokoca, gdje se po deceniji gube tri, odnosno pet dana sa snježnim pokrivačem za posmatrane sezone. Na Bjelašnici je, takođe, zabilježeno značajno smanjenje, dva dana po deceniji u turističkoj sezoni (novembar–april).

Zaključak: Dobijeni rezultati ukazuju na skraćivanje perioda pogodnog za formiranje i zadržavanje snježnog pokrivača, odnosno negativan uticaj klimatskih promjena na uslove za razvoj zimskog turizma u Bosni i Hercegovini.

Ključne riječi: klimatske promjene, temperatura vazduha, padavine, snježni pokrivač, trend, zimski turizam, Bosna i Hercegovina

UVOD

„Klima je kompleksan i dinamičan sistem koji čine atmosfera, hidrosfera, kriosfera, biosfera (čovjek, biljni i životinjski svijet), kao i složene međusobne interakcije između ovih komponenata (podsistema)." [1] Dinamika klime ogleda se u njenom mijenjanju, uslovljenom astronomskim, geofizičkim, cirkulacionim i antropogenim faktorima. U antropogene faktore koji uzrokuju klimatske promjene ubrajaju se emisije gasova u atmosferu (ugljen dioksid, azot-suboksid, metan, troposferski ozon, freon), ali i urbanizacija (urbana ostrva

toplote) i promjena namjene korištenja prostora (melioracija, izgradnja akumulacionih jezera, krčenje šuma i korištenje zemljišta. [1]

Klimatske promjene postale su globalni fenomen krajem 19. vijeka. Srednje temperature vazduha su više za 1,03°C u odnosu na predindustrijski period. Decenija 2013–2022. toplija je od prethodne za 1,15°C . [2] Tokom posljednje tri decenije zabilježene su najviše prosječne temperature vazduha u instrumentalnom periodu mjerenja. Globalno zagrijavanje naročito je izraženo u Evropi, gdje je tokom 20. vijeka došlo do porasta temperature vazduha, sa najintenzivnijim promjenama u posljednjoj četvrtini vijeka. Godina 2024. bila je najtoplija u Evropi od kada postoje mjerenja, za 1,60°C u odnosu na predindustrijski period. [3] Pored porasta srednjih temperatura, u većem dijelu Evrope uočeno je smanjenje učestalosti hladnih dana i noći, kao i povećanje učestalosti toplih dana i noći.

Slični klimatski trendovi prisutni su i na području jugoistočne Evrope i Balkanskog poluostrva. Analize godišnjih i sezonskih temperatura u Srbiji, Hrvatskoj, Sloveniji, Crnoj Gori i Grčkoj ukazuju na izražene, uglavnom statistički značajne pozitivne trendove temperature vazduha tokom druge polovine 20. i početkom 21. vijeka. Porast temperature najizraženiji je u ljetnjem periodu, dok su pozitivni trendovi prisutni i tokom zime i proljeća. U jesen su promjene temperature manje izražene i uglavnom nisu statistički značajne. Zagrijavanje klimatskog sistema na ovom području potvrđuju i promjene temperaturnih ekstrema, koje se ogledaju u sve većoj učestalosti toplih dana, toplih noći i toplotnih talasa, uz istovremeno smanjenje učestalosti hladnih dana, hladnih noći i hladnih talasa. [4]

Promjene padavina na globalnom i lokalnom nivou su manje značajne u odnosu na temperaturne promjene, mada je primjećen porast broja dana sa intenzivnim padavinama posljednjih trideset godina. U Bosni i Hercegovini prisutan je trend smanjenja godišnjih količina padavina, međutim on nije statistički značajan na većini stanica. U sezoni zima, takođe je uočen trend smanjenja količine padavina, naročito na planinskom području istočne Hercegovine. [5]

Klimatske promjene, naročito posljednjih decenija sve izraženije utiču na planinske oblasti Evrope, naročito na Alpe, gdje se ispoljavaju kroz porast temperature vazduha, promjene režima padavina i smanjenje trajanja i pouzdanosti snježnog pokrivača, što uslovljava I kraću zimsku turističku sezonu. U periodu od 1850. godine alpski glečeri izgubili su približno polovinu svoje zapremine, dok je porast temperature na pojedinim visokoplaninskim lokacijama tokom 20. vijeka dostigao oko 2 °C. Ovakve promjene posebno su izražene na nižim nadmorskim visinama, kao i tokom jesenjih i proljećnih mjeseci, što značajno utiče na uslove razvoja zimskog turizma, skraćivanja turističke sezone, ugrožavanja održivosti skijališta i potrebe za razvojem cjelogodišnje turističke ponude. Navedeni procesi predstavljaju značajan okvir za sagledavanje klimatskih promjena u planinskim prostorima Dinarida, koji su dio Alpskog orogena [6, 7, 8].

Geografski položaj i planinski reljef Dinarida sa umjereno hladnim klimatskim tipom osnova su za razvoj zimskog turizma u Bosni i Hercegovini, pri čemu islandski ciklon donosi snježne padavine, a sibirski anticiklon stabilno i hladno vrijeme. Međutim, klimatske promjene izražene u 22. vijeku, kroz rast temperatura i narušen pluviometrijski režim, direktno ugrožavaju ovaj sektor u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini. Smanjenje broja dana sa zadržavanjem snijega i snježnog pokrivača, uz dugotrajne tople talase, snažno narušava prirodnu pogodnost planinskih destinacija za razvoj turizma, čineći ga izuzetno ranjivim sektorom [9].

U ovom radu se analiziraju trendovi zimskih temperatura vazduha, padavina i snježnog pokrivača u periodu 1961–2020. godine u Bosni I Hercegovini, na meteorološkim stanicama Sokolac, Čemerno i Bjelašnica. Cilj rada je utvrđivanje promjena klimatskih uslova značajnih za zimski turizam i sagledavanje njihovih mogućih implikacija na razvoj zimskog turizma u Bosni i Hercegovini.

MATERIJAL I METODE

Prostorni obuhvat istraživanja čini planinski prostor Bosne i Hercegovine, koji je u istraživanju predstavljen podacima sa tri odabrane meteorološke stanice: Sokolac (898 m), Jahorina (1.727 m) i Bjelašnica (2.067 m). Kriterijum za odabir ove tri stanice bio je kontinuitet mjerenja [10, 11].

Izbor stanica omogućava analizu klimatskih promjena u planinskim područjima različitih nadmorskih visina.

U istraživanju su korišteni podaci za period 1961–2020. godine, dostavljeni od Republičkog hidrometeorološkog zavoda Republike Srpske i Federalnog hidrometeorološkog zavoda. Analizirani su podaci o temperaturi vazduha, padavina i trajanju snježnog pokrivača.

Posebna pažnja posvećena je srednjim temperaturama tokom zimskog perioda, koji obuhvata decembar, januar i februar (DJF), kao i periodu novembar–april, koji predstavlja širi vremenski okvir značajan za zimsku turističku sezonu. Za snježni pokrivač analiziran je broj dana sa snježnim pokrivačem u navedenim periodima. Pored analize klimatskih obilježja, biće izvršena i komparativna analiza promjena između dva perioda, s ciljem utvrđivanja intenziteta i pravca promjena osnovnih klimatskih elemenata.

Za utvrđivanje postojanja i statističke značajnosti trenda u vremenskim nizovima primijenjen je Man-Kendalov (Mann–Kendall) test. Intenzitet utvrđenih promjena određen je primjenom Senovog (Sen) estimatora nagiba.

Statistička značajnost trendova određena je na nivou od 95% ($p < 0,05$) i 99% ($p < 0,01$). Vrijednosti trenda prikazane su kao promjene analiziranih klimatskih elemenata po deceniji.

Dobijeni rezultati korišteni su za utvrđivanje dugoročnih promjena temperaturnih uslova i trajanja snježnog pokrivača, kao i za razmatranje njihovih mogućih implikacija na uslove za razvoj i održivost zimskog turizma u planinskim područjima Bosne i Hercegovine.

REZULTATI

Najniže srednje temperature tokom posmatranog perioda su na Bjelašnici, dok su najviše vrijednosti registrovane u Sokocu. Sa druge strane, najveće količine padavina zabilježene su na Čemernu, dok su najmanje količine registrovane u Sokocu (Tabela br.1).

Ove razlike u osnovnim klimatskim pokazateljima odražavaju različite klimatske uslove na posmatranim planinskim stanicama i predstavljaju osnovu za dalju analizu promjena temperature, padavina i snježnog pokrivača.

Poređenjem srednjih temperatura vazduha za dva tridesetogodišnja perioda, 1961–1990. i 1991–2020. godine, uočava se porast temperature na svim analiziranim meteorološkim stanicama, kako tokom zimske sezone (DJF), tako i u periodu novembar–april (Tabela br. 2).

Na meteorološkoj stanici Bjelašnica, srednja temperatura za period novembar–april povećala se sa -3,1 °C u periodu 1961–1990. na -2,5 °C u periodu 1991–2020. godine, dok je tokom DJF sezone porasla sa -5,1 °C na -4,0 °C. Na Čemernu je srednja temperatura u periodu novembar–april porasla sa 1,3 °C na 1,7 °C, dok je u DJF sezoni zabilježen porast sa 0,5 °C na 1,4 °C. U Sokocu je u periodu novembar–april srednja temperatura porasla sa 0,1 °C na 1,3 °C, dok je tokom DJF sezone porasla sa −3,2 °C na −1,8 °C.

Najveće zagrijavanje zabilježeno je u Sokocu, gdje je srednja temperatura u periodu novembar–april povećana za 1,2 °C, a tokom DJF sezone za 1,4 °C (Grafikon br. 1,2).

Najmanja promjena u periodu novembar–april zabilježena je na Čemernu, gdje je

porast iznosio 0,4 °C, dok je u DJF sezoni najmanji porast zabilježen na Bjelašnici i iznosio je 1,1 °C. Dobijeni rezultati ukazuju na opšte zagrijavanje tokom hladnijeg dijela godine na svim posmatranim stanicama, pri čemu je intenzitet promjene različit u zavisnosti od stanice i posmatranog perioda.

U nastavku su prikazani trendovi srednje temperature vazduha i količine padavina za zimsku sezonu (DJF) i period novembar–april na odabranim meteorološkim stanicama u Bosni i Hercegovini (Tabela br. 3). Rezultati pokazuju da je na svim odabranim stanicama tokom oba posmatrana perioda prisutan trend porasta srednje temperature vazduha, dok su promjene u količini padavina različitog smjera.

Na Bjelašnici je zabilježen porast srednje temperature od 0,1 °C po deceniji i u sezoni zima (DJF) i u periodu novembar–april, pri čemu trend nije statistički značajan. Količina padavina u DJF sezoni povećavala se za 23 mm po deceniji, bez statističke značajnosti, dok je u periodu novembar–april zabilježen značajan porast od 51 mm po deceniji ($p < 0,01$) (Grafikon br. 3).

Na Čemernu je utvrđen porast srednje temperature od 0,3 °C u oba posmatrana perioda. U DJF sezoni ovaj trend je statistički značajan ($p < 0,05$), dok je u periodu novembar–april statistička značajnost izraženija ($p < 0,01$). Za razliku od temperature, količina padavina pokazuje tendenciju smanjenja, i to za 20 mm po deceniji u DJF sezoni i 38 mm po deceniji u periodu novembar–april, ali ovi trendovi nisu statistički značajni.

U Sokocu je zabilježen najizraženiji porast srednje temperature vazduha. U DJF sezoni temperatura se povećavala za 0,5 °C po deceniji, dok je u periodu novembar–april porast iznosio 0,4 °C po deceniji. Oba temperaturna trenda statistički su značajna na nivou $p < 0,01$. Količina padavina takođe pokazuje tendenciju porasta, od 5 mm po deceniji u DJF sezoni i 8 mm po deceniji u periodu novembar–april, ali bez statistički značajnog trenda (Tabela br. 6).

Srednji broj dana sa snježnim pokrivačem pokazuje izražene razlike između posmatranih meteoroloških stanica i analiziranih sezona (Tabela br. 4). Tokom sezone zima (DJF), srednji broj dana sa snježnim pokrivačem zabilježen je na meteorološkoj stanici Čemerno i iznosio je 57,2 dana, dok je na Bjelašnici iznosio 75,6, a u Sokocu 63,2 dana. U periodu novembar–april najviše dana sa snježnim pokrivačem registrovano je na Bjelašnici, ukupno 142,7 dana, zatim u Sokocu sa 85,7 i Čemernu sa 91,7 dana. Ovako izražene razlike posljedica su specifičnosti klimatskih uslova na posmatranim lokacijama, pri čemu se posebno izdvaja Bjelašnica po dugom zadržavanju snježnog pokrivača tokom šireg zimskog perioda.

Posmatranjem trendova uočava se tendencija smanjenja broja dana sa snježnim pokrivačem, naročito u Sokocu (Tabela br. 5). Na Bjelašnici tokom DJF sezone nije utvrđena promjena, dok je u periodu novembar–april zabilježeno smanjenje od dva dana po deceniji. Na Sokocu je smanjenje izraženije i iznosi tri dana po deceniji tokom DJF sezone, odnosno pet dana po deceniji u periodu novembar–april. Za Čemerno trend nije analiziran zbog nedostatka odgovarajućih podataka. Uočeno smanjenje broja dana sa snježnim pokrivačem, posebno kada se posmatra zajedno sa utvrđenim porastom temperature vazduha, ukazuje na skraćivanje perioda pogodnih snježnih uslova, što može imati značajne posljedice po trajanje i stabilnost zimske turističke sezone.

Poređenjem srednjeg mjesečnog broja dana sa snježnim pokrivačem između perioda 1961–1990. i 2000–2022. godine na meteorološkim stanicama Bjelašnica i Sokolac uočavaju se promjene različitog intenziteta i prostornog karaktera (Grafikon br. 3, 4). Na obje stanice izraženije promjene uglavnom su prisutne tokom prelaznih mjeseci, dok su tokom sezone zima vrijednosti relativno stabilnije. Na Bjelašnici su najveća smanjenja zabilježena u maju, sa 22,4 na 20,3 dana, junu, sa 3,2 na 1,7 dana, i novembru, sa 19,1 na 15,2 dana. U Sokocu je smanjenje izraženije tokom decembra, kada je broj dana sa snježnim pokrivačem smanjen sa 20,2 na 14,2 dana, zatim novembra, sa 7,3 na četiri dana, februara, sa 21,2 na 18,1 dan i januara, sa 26,6 na 24,4 dana. U ostalim mjesecima promjene su uglavnom

manje izražene, a pojedine vrijednosti ostaju gotovo nepromijenjene.

U poređenju sa Sokocem, Bjelašnica u oba analizirana perioda zadržava znatno veći broj dana sa snježnim pokrivačem tokom kasnog proljeća i jeseni, što je posebno izraženo u maju i novembru. Istovremeno, u Sokocu su promjene izraženije tokom zimskih mjeseci, naročito u decembru. Posmatrano u cjelini, noviji period karakteriše smanjenje broja dana sa snježnim pokrivačem na obje stanice, iako se intenzitet i raspored promjena razlikuju. Ovakve promjene, u kombinaciji sa porastom temperature vazduha ukazuju na promjene u trajanju i rasporedu snježnog pokrivača, što može imati nepovoljne posljedice po stabilnost i trajanje turističke sezone zima.

DISKUSIJA

Dobijeni rezultati imaju direktne implikacije na razvoj zimskog turizma u Bosni i Hercegovini. Zimski turizam u velikoj mjeri zavisi od dostupnosti i trajanja snježnog pokrivača, posebno u destinacijama čija je turistička ponuda dominantno zasnovana na skijanju i drugim aktivnostima na snijegu. Smanjenje broja dana sa snježnim pokrivačem za približno tri dana po deceniji tokom DJF i približno pet dana po deceniji tokom perioda novembar–april ukazuje na postepeno smanjenje prirodno povoljnih uslova za takve aktivnosti.

Jedna od mogućih posljedica jeste skraćivanje trajanja skijaške sezone [12].

Osim njenog kraćeg trajanja, povećanje temperature i smanjenje broja dana sa snijegom mogu dovesti i do veće neizvjesnosti u pogledu početka i završetka sezone. Za turističke destinacije to predstavlja izazov u planiranju poslovanja, jer uspješnost zimske sezone zavisi od mogućnosti da se turistički sadržaji koriste tokom dovoljno dugog i stabilnog perioda.

Promjene neće nužno na isti način uticati na sve planinske turističke destinacije u Bosni i Hercegovini. Područja na nižim nadmorskim visinama mogu biti osjetljivija na porast temperature, jer se njihove zimske temperature češće nalaze u blizini granice smrzavanja. Na višim nadmorskim visinama veća je vjerovatnoća zadržavanja snježnog pokrivača, zbog čega nadmorska visina može postati još značajniji faktor pri procjeni buduće pogodnosti pojedinih destinacija za razvoj zimskog turizma. Zbog toga je pri planiranju razvoja turističke infrastrukture potrebno uzeti u obzir prostorne razlike u klimatskim uslovima i osjetljivosti pojedinih planinskih područja.

Jedna od mogućnosti prilagođavanja predstavlja primjena sistema za vještačko zasnježivanje [13].

Oni mogu pomoći u održavanju skijaških staza tokom kraćih perioda sa nedovoljnom količinom prirodnog snijega, ali njihova efikasnost zavisi od odgovarajućih temperaturnih uslova, dostupnosti vode i ekonomskih mogućnosti turističkih centara. Zbog toga vještačko zasnježivanje može ublažiti posljedice nedostatka prirodnog snijega, ali ne predstavlja potpuno rješenje za dugoročne posljedice porasta temperature.

Pored tehnoloških mjera, značajan pravac prilagođavanja može biti diversifikacija turističke ponude. Destinacije koje se oslanjaju prvenstveno na skijanje mogu biti osjetljivije na promjene trajanja snježne sezone. Razvoj sadržaja koji nisu direktno zavisni od snijega, kao što su planinarenje, izletnički i rekreativni turizam, sportski sadržaji i drugi oblici boravka u planinskim područjima, može omogućiti bolje korišćenje turističkih potencijala tokom većeg dijela godine. Na taj način smanjenje pouzdanosti zimskih uslova može biti djelimično kompenzovano razvojem cjelogodišnje turističke ponude [13,14].

Za Bosnu i Hercegovinu je posebno značajno pravovremeno prepoznavanje ovih promjena, jer razvoj zimskog turizma zavisi od prirodnih karakteristika planinskih područja, ali i od ulaganja u infrastrukturu i prilagođavanja turističke ponude. Dobijeni klimatski trendovi mogu predstavljati osnovu za procjenu osjetljivosti pojedinačnih turističkih

destinacija i za planiranje budućih ulaganja u skladu sa očekivanim klimatskim uslovima.

Rezultate istraživanja potrebno je posmatrati uz određena ograničenja. Klimatski uslovi se razlikuju između pojedinačnih meteoroloških stanica i planinskih područja, zbog čega prosječne vrijednosti ne mogu u potpunosti prikazati lokalne specifičnosti. Na trajanje snježnog pokrivača, pored temperature i padavina, utiču nadmorska visina, ekspozicija, reljef, vjetar i mikroklimatske karakteristike. Takođe, klimatski podaci sami po sebi ne mogu pokazati stvarni ekonomski uticaj promjena na zimski turizam, jer on zavisi i od turističke potražnje, infrastrukture, mogućnosti vještačkog zasnježivanja i drugih faktora.

Zbog toga bi dalja istraživanja trebalo usmjeriti na detaljniju analizu pojedinačnih planinskih turističkih destinacija i povezivanje klimatskih podataka sa podacima o turističkom prometu. Posebno bi bilo korisno analizirati odnos između broja dana sa snježnim pokrivačem, trajanja skijaške sezone, broja turista i ostvarenih noćenja. Takav pristup omogućio bi precizniju procjenu stvarnog uticaja klimatskih promjena na zimski turizam i identifikovanje područja koja su najosjetljivija na buduće promjene klimatskih uslova.

ZAKLJUČAK

Klimatske promjene predstavljaju sve značajniji faktor za budućnost zimskog turizma u Bosni i Hercegovini. Rezultati ovog istraživanja ukazuju na zagrijavanje sezone zima i smanjenje trajanja snježnog pokrivača tokom posmatranih šest decenija. Takve promjene mogu dovesti do kraće i manje pouzdane zimske turističke sezone, posebno u područjima koja u velikoj mjeri zavise od prirodnog snijega. Zbog toga će budući razvoj zimskog turizma zahtijevati prilagođavanje promijenjenim klimatskim uslovima, ali i veće oslanjanje na raznovrsnu turističku ponudu koja nije isključivo vezana za snijeg. Pravovremeno prepoznavanje ovih promjena može biti značajno za planiranje i održiv razvoj planinskih turističkih destinacija u Bosni i Hercegovini.

LITERATURA

Trbić, G. *Ekoklimatska rejonizacija Peripanonskog oboda Republike Srpske*. Banja Luka: Geografsko društvo Republike Srpske; 2010. 189 p. ISBN: 978-99955-608-9-8.

Popov, T., Gnjato, S., Trbić, G., Ivanišević, M., Borojević, D., & Đorđević, M. Changes in air temperature and precipitation in Sokolac (1961–2022). Herald. 2023;27:1-25. doi:10.7251/HER2327001P.

Copernicus Climate Change Service [Internet]. Available from: https://climate.copernicus.eu

Trbić, G., Popov T., & Gnjato, S. Analysis of air temperature trends in Bosnia and Herzegovina. Geographica Pannonica. 2017;21(2):68-84. doi:10.18421/GP21.02-01.

Popov, T., Gnjato, S., & Trbić, G. Changes in precipitation over the East Herzegovina region. Glasnik Srpskog geografskog društva. 2019;99(1):29-44. doi:10.2298/GSGD1901029P.

Adler, C., Wester P, Bhatt I, Huggel, C., Insarov GE, Morecroft MD, et al. Cross-Chapter Paper 5: Mountains. In: Pörtner HO, Roberts DC, Tignor M, et al., editors. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press; 2022. p. 2273-2318. doi:10.1017/9781009325844.022.

Ausserladscheider V. Climate Change and (Mal)Adaptation in Tourism-Intensive Alpine Regions. The Political Quarterly. 2026;97(3):400-406. doi:10.1111/1467-923x.70058.

Balbi, S. Climate change and tourism in the Alps: a position paper in view of the upcoming Alpine Convention Fourth Report on the State of the Alps on Sustainable Tourism. CMCC Research Papers. 2012;RP0127. doi:10.2139/ssrn.2014045.

Popov, T., Ducić, V., Đurđević, V., Trbić, G., & Gnjato, S. Savremene klimatske promjene u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini. In: Upravljanje prirodnim resursima u eri klimatskih promjena. Banja Luka: Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske; 2023. p. 567–604. doi:10.7251/EORU2308567P.

Republički hidrometeorološki zavod Republike Srpske [Internet]. Available from: https://www.rhmzrs.com/

Federalni hidrometeorološki zavod Bosne i Hercegovine [Internet]. Available from: https://www.fhmzbih.gov.ba/

Gegač, K., *Utjecaj klimatskih promjena u planinama na funkcioniranje skijaških centara* [diplomski rad]. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2025.
Metzinger, P., & Corradini, P. Climate Change Adaptation Types in Alpine Winter Tourism Destinations: Differentiating Incremental, Transformational, Autonomous and Planned Adaptations in Balderschwang, Germany. Zeitschrift für Tourismuswissenschaft. 2025;17(2):144-168. doi:10.1515/tw-2025-0002.
Rixen, C., Teich, M., Lardelli, C., Gallati, D., Pohl, M., & Pütz M, et al. Winter Tourism and Climate Change in the Alps: An Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snowmaking Potential. Mountain Research and Development. 2011;31(3):229-236. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00112.1.

Tabela br. 1. Srednje temperature vazduha i padavine za zimsku sezonu (DFJ) i period novembar–april u Bosni i Hercegovini u periodu 1961–2020

Stanica	DJF		novembar–april	
	T (C)	R (mm)	T (C)	R (mm)
Bjelašnica	- 5,9	271,4	-4,0	568,9
Čemerno	1,5	514,9	2,5	1043,1
Sokolac	-2,6	176,2	6,2	387,6

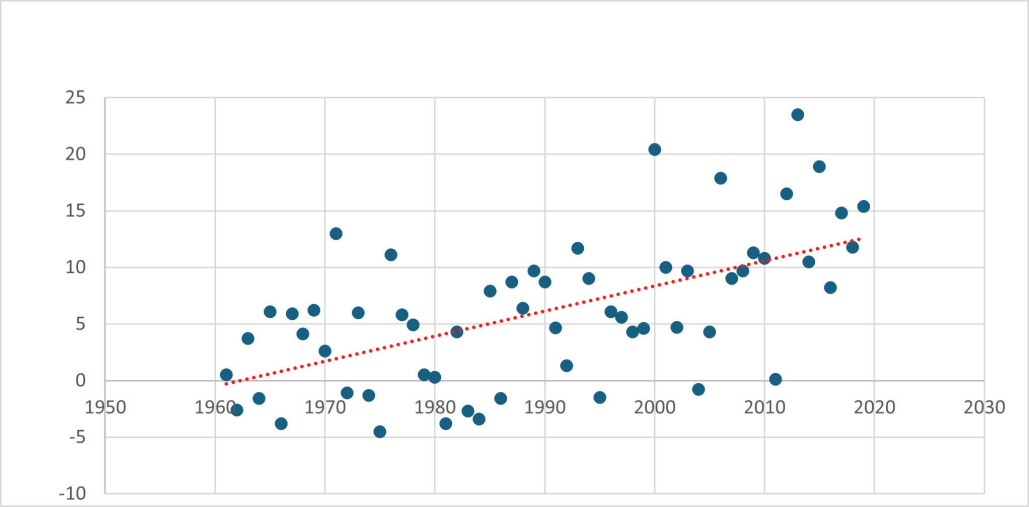
Tabela 2. Srednje temperature vazduha za dva tridesetogodišnja perioda

	novembar–april 1961–1990.	novembar–april 1990–2020.	DJF 1961–1990.	DJF 1990–2020.
Bjelašnica	-3,1	- 2,5	-5,1	-4
Čemerno	1,3	1,7	0,5	1,4
Sokolac	0,1	1,3	-3,2	-1,8

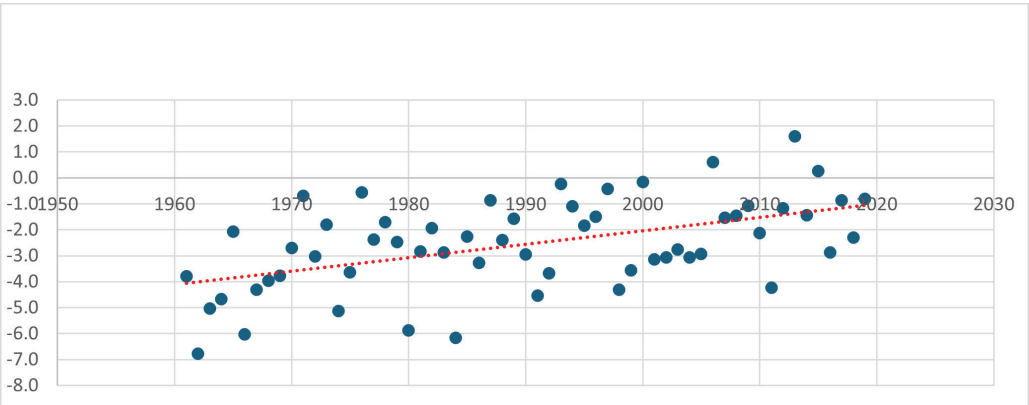
Tabela 3. Decenijski trend srednje temperature vazduha i padavina za sezonu zima (DJF) i period novembar–april u BiH u 1961–2020. godine

Stanica	DJF		novembar–april	
	T (C)	R (mm)	T (C)	R (mm)
Bjelašnica	0,1	*23*	0,1	**50**
Čemerno	*0,3*	-20	**0,3**	-38
Sokolac	**0,5**	5	**0,4**	8

Statistička značajnost: **p<0.01**; *p<0.05*



Grafikon br. 1. Porast srednje temperature vazduha u sezoni novembar–april u periodu 1961–2020. godine u Sokocu



Grafikon br. 2. Trend srednje temperature vazduha u sezoni zima u periodu 1961–2020. godine u Sokocu

Tabela br. 4. Srednji broj dana sa snježnim pokrivačem na odabranim stanicama u Bosni i Hercegovini u periodu 1961–2020. godine

Stanica	DJF	novembar–april
	Srednji broj dana sa snježnim pokrivačem	
Bjelašnica	75,6	*142,7*
Čemerno	57,2	*91,7*
Sokolac	**63,2**	**85,7**

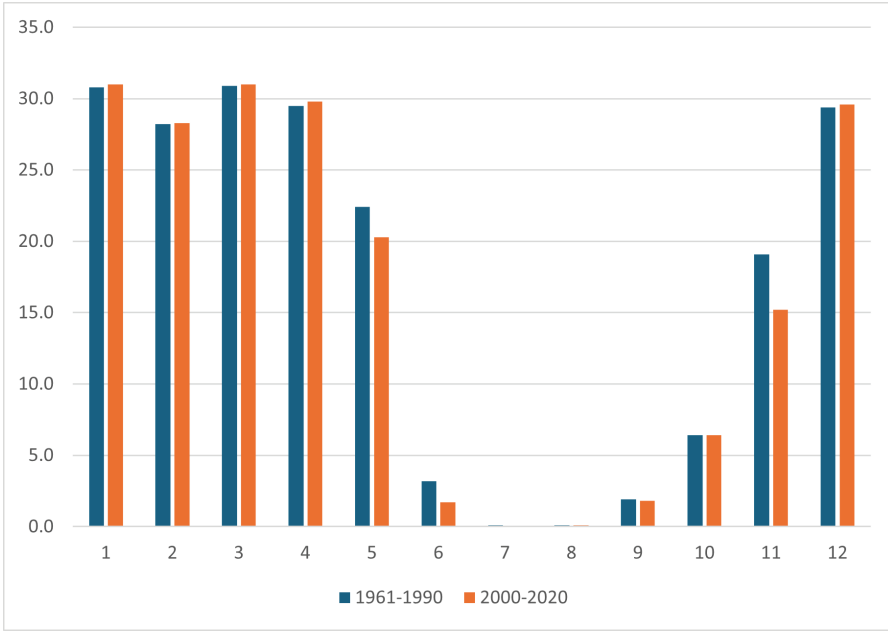
Tabela br. 5. Decenijski trend srednjeg broja dana sa snježnim pokrivačem na odabranim meteorološkim stanicama u Bosni i Hercegovini u periodu 1961–2020. godine

Stanica	DJF	novembar–april
	Broj dana sa snježnim pokrivačem	
Bjelašnica	0	*-2*
Sokolac	**-3**	**-5**

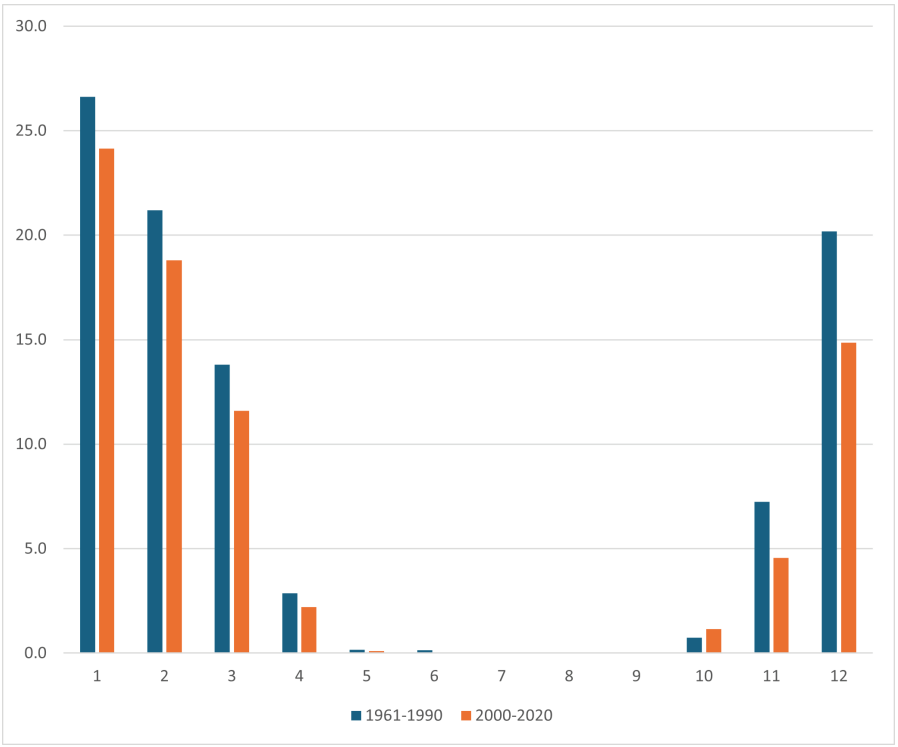
Statistička značajnost: **p<0.01**; *p<0.05*

Tabela br. 6. Srednje godišnje količine padavina za periode 1961–1990. i 2000–2020.

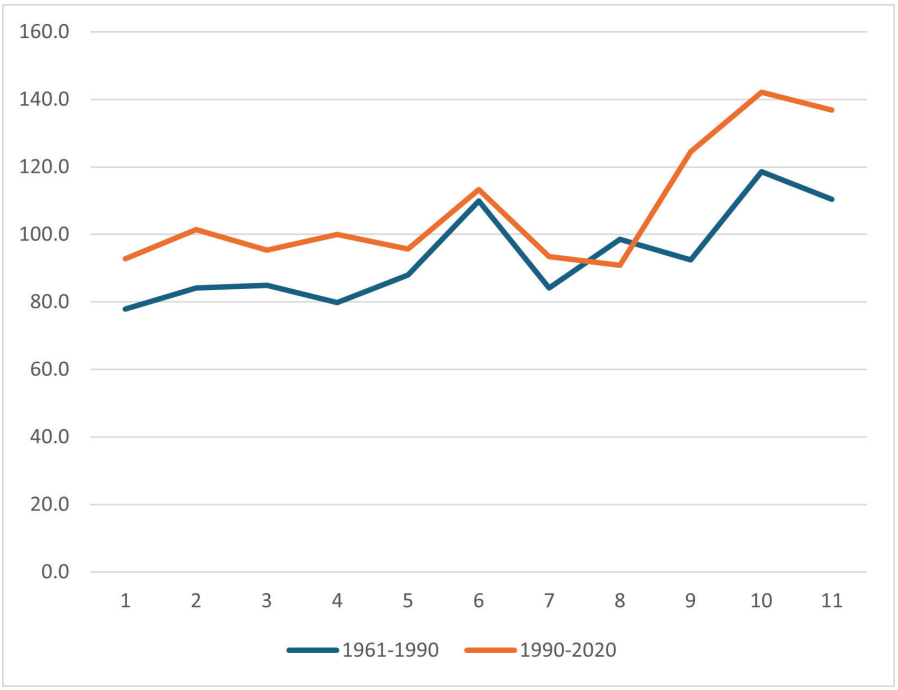
	novembar–april 1961–1990.	novembar–april 1990–2020.	DJF 1961–1990.	DJF 1990–2020.
Bjelašnica	86	105	81	99
Čemerno	184	167	177	165
Sokolac	62	68	57	62



Grafikon br. 3. Srednji mjesečni broj dana sa snježnim pokrivačem na Bjelašnici u periodu 1961–1990. i 2000–2020.



Grafikon br. 4. Srednji mjesečni broj dana sa snježnim pokrivačem u Sokocu, u periodu 1961–1990. i 2000–2020.



Grafikon br. 5. Srednja mjesečna količina padavina na Bjelašnici u periodu 1961–1990. i 2000–2020.

CLIMATE CHANGE IN THE MOUNTAINOUS AREAS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA AND IMPLICATIONS FOR WINTER TOURISM

Author: ANJA SAMARDZIJA
E-mail: anja.samardzija@student.pmf.unibl.org
Study Programme in Geography
Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka

Introduction: Climate change represents a major driver of changes in natural conditions, particularly in sensitive mountainous areas. The mountainous regions of Bosnia and Herzegovina have significant potential for the development of winter tourism, although its development is largely determined by natural conditions.

The Aim: This study analyses trends in winter air temperatures, precipitation, and snow cover during the period 1961–2020 at the meteorological stations Sokolac, Čemerno, and Bjelašnica, with the aim of identifying changes in climatic conditions relevant to winter tourism and assessing their potential implications for the development of winter tourism in Bosnia and Herzegovina.

Materials and Methods: Data on air temperature, precipitation, and snow cover were obtained from the website of the Republic of Srpska Hydrometeorological Institute. Changes in the aforementioned climatic elements were examined using the Mann–Kendall test to determine the significance and persistence of trends and Sen's slope estimator to assess the magnitude of the trend, with particular emphasis on the winter season (DJF) and the tourist season (November–April).

Results: The results indicate a significant increase in mean air temperature at Sokolac of 0.5 °C per decade during the winter season and an increase of 0.4 °C per decade during the tourist season (November–April). A significant positive trend was also observed at the Čemerno meteorological station, amounting to 0.3 °C per decade in both analysed seasons. Precipitation generally shows insignificant trends, while a significant positive trend was recorded only at Bjelašnica. A particularly important finding is the decrease in the number of days with snow cover, which is most pronounced in the Sokolac area, where three and five days with snow cover are lost per decade in the respective seasons. At Bjelašnica, a significant decrease was also recorded, amounting to two fewer days per decade during the tourist season (November–April).

Conclusion: The results indicate a shortening of the period favourable for the formation and persistence of snow cover, pointing to the negative impact of climate change on conditions for the development of winter tourism in Bosnia and Herzegovina.

Keywords: „climate change", „air temperature", „precipitation", „snow cover", „trend", „winter tourism", „Bosnia and Herzegovina".

https://doi.org/10.63356/stes.nat.2026.002 УДК 582.635.3:547.972.3.056

BIOLOŠKA AKTIVNOST EKSTRAKTA LISTA SMOKVE (Ficus carica L.): ANTIOKSIDATIVNI KAPACITET I SPOSOBNOST INHIBICIJE ALFA-AMILAZE

Autor: IVONA IVETIĆ
e-mail: ivona.ivetic@student.pmf.unibl.org
Mentor: prof. dr Biljana Kukavica
Studijski program Biologija
Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Uvod: Ficus carica L. (smokva) je biljka bogata različitim bioaktivnim jedinjenjima, posebno fenolnim jedinjenjima i flavonoidima. Fenolna jedinjenja imaju sposobnost neutralizacije slobodnih radikala, dok njihova sposobnost inhibicije enzima uključenih u metabolizam ugljenih hidrata predstavlja predmet brojnih istraživanja. List smokve tradicionalno se koristi u narodnoj medicini za regulaciju nivoa glukoze u krvi, smanjenje koncentracije triglicerida, ublažavanje probavnih tegoba, kao i za tretman različitih kožnih problema.

Cilj: Ispitati sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja i flavonoida, procijeniti in vitro antioksidativni kapacitet etanolnog ekstrakta lista F. carica L. i inhibitornog djelovanja prema α-amilazi.

Materijal i metode: Listovi F. carica L. sakupljeni su na području Bosne i Hercegovine (Republika Srpska), osušeni i ekstrahovani primjenom 80% etanola. Sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja i flavonoida, antioksidativni kapacitet mjeren različitim metodama kao i inhibicija α-amilaze su određeni spektrofotometrijski. Identifikacija fenolnih jedinjenja je urađena primjenom tankoslojne hromatografije (TLC).

Rezultati: Sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja u ekstraktu lista F. carica L. iznosio je 16,255 ± 0,484 mg galne kiseline/g suve mase (DW), dok je sadržaj ukupnih flavonoida iznosio 5,203 ± 0,0117 mg kvercetina/g DW. Ekstrakt je pokazao izraženu antioksidativnu aktivnost, pri čemu je ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina)) metodom određena IC_{50} vrijednost od 3.01 ± 0.14 μg/mL. Ukupni antioksidativni kapacitet određen fosfomolibdenskom metodom iznosio je 285,33 ± 42,96 μg/mL ekvivalent vitamina E i 140,38 ± 20,29 μg/mL ekvivalent vitamina C. Sposobnost redukcije Cu^{2+} iznosila je 21,167 ± 6,94 μg troloksa/mL, dok je sposobnost redukcije Fe^{3+} iznosila 0,582 ± 0,035 mmol Fe^{2+}/L. Tankoslojnom hromatografijom je na osnovu standarda pokazano prisustvo galne i hlorogene kiseline kao i kvercetina. Ekstrakt je pokazao inhibitorno djelovanje prema α-amilazi sa IC_{50} vrijednošću od 305.59 ± 8.02 μg/mL.

Zaključak: Ekstrakt lista F. carica L. predstavlja značajan izvor fenolnih jedinjenja i flavonoida sa izraženim antioksidativnim potencijalom i sposobnošću in vitro inhibicije aktivnosti α-amilaze.

Ključne riječi: Ficus carica L; fenolna jedinjenja; flavonoidi; antioksidativna aktivnost; α-amilaza; tankoslojna hromatografija

UVOD

Slobodni radikali predstavljaju različite jone, atome i molekule koji sadrže jedan ili više nesparenih elektrona [1]. Povećane koncentracije slobodnih radikala dovode do oštećenja ćelijskih komponenti što dalje dovodi do gubitka funkcije pa i smrti ćelije kao i do različitih oboljenja. Slobodni radikali sveukupno „iscrpljuju" prirodni odbrambeni mehanizam

organizma i izazivaju oksidativni stres, odnosno stanje u kome je povećana koncentracija oksidanata u ćelijama.

Fenolna jedinjenja, sekundarni metaboliti biljaka, glavni su prirodni antioksidansi. Načini na koji fenolna jedinjenja ispoljavaju svoju antioksidativnu sposobnost jesu kroz procese heliranja prelaznih metala, supstrati su enzima te učestvuju u direktnim reakcijama sa reaktivnim vrstama kiseonika [1]. Fenolne kiseline i flavonoidi pokazale su se kao jedinjenja sa najvećom efikasnošću po svojim antioksidativnim svojstvima.

Dijabetes melitus se najčešće klasifikuje na dijabetes tip 1 i tip 2, koji se razlikuju prema mehanizmu nastanka i poremećaju metabolizma glukoze. Dijabetes melitus tip 1 je autoimuna bolest koju karakteriše destrukcija β-ćelija pankreasa, odgovornih za proizvodnju insulina, što dovodi do njegovog potpunog ili gotovo potpunog nedostatka. Zbog toga je osobama sa dijabetesom tip 1 neophodna doživotna primjena insulina radi održavanja normalnog nivoa glukoze u krvi. Dijabetes melitus tip 2 predstavlja najčešći oblik dijabetesa i karakteriše ga smanjena osjetljivost perifernih tkiva na insulin (insulinska rezistencija), uz postepeno smanjenje sposobnosti β-ćelija pankreasa da proizvode dovoljne količine insulina. Kao posljedica toga dolazi do poremećaja regulacije glukoze i razvoja hiperglikemije. Dijabetes može nastati i kao posljedica povećane proizvodnje reaktivnih vrsta kiseonika (ROS, reactive oxigen species) budući da ROS direktno djeluju na beta ćelije pankreasa koje su zaslužne za proizvodnju hormona insulina. ROS utiču kako na smanjenu sintezu insulina tako i na insulinsku rezistenciju ćelija [2]. Tokom varenja ugljenih hidrata, enzim α-amilaza katalizuje hidrolizu skroba do jednostavnijih oligosaharida i disaharida, što dovodi do povećanja koncentracije glukoze u krvi nakon obroka. Inhibicija aktivnosti α-amilaze može usporiti razgradnju skroba i apsorpciju glukoze u gastrointestinalnom traktu. Posljedica toga je sporiji porast koncentracije glukoze u krvi (postprandijalna glikemija). Pokazalo se da fenolna jedinjenja djeluju inhibitorno na dejstvo alfa amilaze i time mogu učestovati u kontroli postprandijalne glikemije. Ova jedinjenja mogu ostvarivati vodonične i hidrofobne interakcije sa aktivnim ili alosteričnim mjestima enzima, čime smanjuju njegovu sposobnost hidrolize skroba. Pored toga, pojedini polifenoli mogu formirati komplekse sa molekulima skroba i time dodatno ograničiti pristup supstrata enzimu.

Smokva (*Ficus carica* L.) je jedna od prvih biljaka koju je čovjek kultivisao. Pripada porodici *Moraceae*, rodu *Ficus,* sa više od 800 različitih vrsta rasprostranjenih širom tropskog i suptropskog pojasa.

Nalazi koji su objavljeni u literaturi govore o procesu domestifikacije ove biljke koja se sa područja Bliskog istoka i Mediterana reznicama vegetativno razmnožavala i pripitomljavala te se ovakvim dugotrajnim procesom došlo do različitih modifikacija primarnih karakteristika biljke što se ogleda u povećanju sadržaja šećera i veličine ploda [3].

Biljni ekstrakti predstavljaju značajan izvor bioaktivnih molekula koji mogu djelovati kao prirodni katalizatori u različitim biohemijskim i hemijskim procesima [4]. Prema Walia i sar. (2022), među fenolnim jedinjenjima prisutnim u vrstama roda *Ficus* izdvajaju se kvercetin, kempferol, miricetin, luteolin, rutin i hlorogenska kiselina. Kvercetin pokazuje antioksidativno, antiinflamatorno i antibakterijsko djelovanje, dok se miricetinu, pored antioksidativnog, pripisuju antivirusno, antimikrobno i citoprotektivno djelovanje. Kempferol se odlikuje antioksidativnom aktivnošću, dok luteolin, osim antioksidativnog, ispoljava i antiinflamatorni potencijal. Hlorogenska kiselina povezuje se sa antioksidativnim, antiinflamatornim, dok se rutinu pripisuju povoljni efekti na funkciju krvnih sudova i metabolizam lipida. Takođe, za izoramnetin su opisane antioksidativna i potencijalna antitumorska aktivnost. Pored toga, u eksperimentalnim istraživanjima pojedinih vrsta roda *Ficus* zabilježeni su antihiperglikemijski efekti frakcija tanina, što ukazuje na njihov potencijalni značaj u istraživanjima antidijabetičke aktivnosti [4].

Zahvaljujući svojim ljekovitim sposobnostima, nutritivnim vrijednostima, smokva je

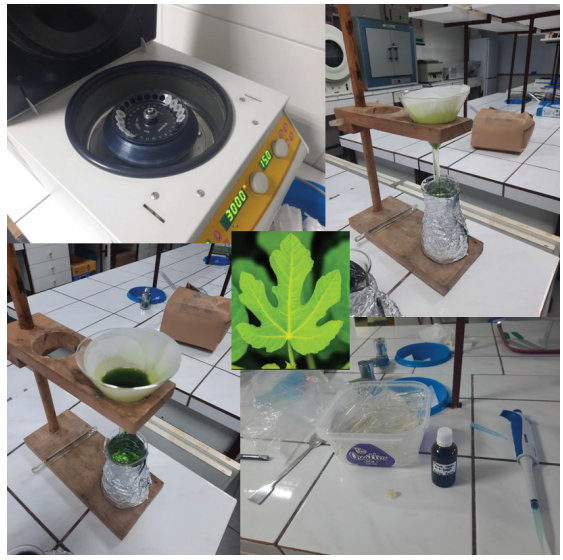
stekla popularnost širom svijeta te zainteresovala naučnike o svojim mogućim benefitima naročito kada je u pitanju borba protiv dijabetesa tip 2 [4]. Takođe, njeni listovi se tradicionalno koriste u narodnoj medicini u formi čaja ili se pak mliječni sok koristi kao tretman kod različitih kožnih oboljenja. Pored toga, bogata je i šećerima, vlaknima te različitim mineralima i vitaminima što joj još više daje na značaju [5]. Bogata je i antocijaninima, karotenoidima te vitaminima C, E i K [5]. Zahvaljujući svim aktivnim jedinjenjima koristi se i kao antibakterijsko, hepatoprotektivno, antikancerogeno sredstvo, ali i u borbi sa kardiovaskularnim oboljenjima [4]. S obzirom na to sve navedeno, cilj ovog rada je bio da se ispita antioksidativna aktivnost ekstrakta lista smokve kao i sposobnost ekstrakta da in vitro inhibira aktivnost alfa-amilaze i time uspori razgradnju skorba i povećanje koncentracije glukoze u krvi nakon obroka.

MATERIJAL I METODE

Priprema biljnog materijala

Listovi smokve (*Ficus carica* L.) prikupljeni su na području Trebinja, Jazina, Republika Srpska, Bosne i Hercegovine u periodu formiranja ploda, a botaničku determinaciju izvršio je prof. dr Siniša Škondrić. Nakon prikupljanja, listovi su oprani, osušeni na sobnoj temperaturi i pohranjeni u papirne vrećice do dalje upotrebe.

Miješani uzorak je pripremljen mljevenjem najmanje 50 osušenih listova smokve. Za pripremu ekstrakta korišteno je 10 g usitnjenog biljnog materijala, koji je ekstrahovan sa 300 mL 80% etanola. Ekstrakcija je započeta tretiranjem uzorka u ultrazvučnom kupatilu (*Ultrawave U300, Cardiff, UK*) tokom pet minuta, nakon čega je smjesa miješana na magnetnoj mješalici 30 minuta pri sobnoj temperaturi. Dobijeni ekstrakt je potom filtriran kroz filter papir radi uklanjanja čvrstih čestica biljnog materijala. Filtrat je sakupljen u tamne staklene bočice za tinkture i skladišten do izvođenja eksperimentalnih analiza. Koncentracija fenolnih jedinjenja je izrežena po masi biljnog uzorka (10g korišteno za ekstrakciju) pri čemu je u obzir uzeta zapremina rastvarača. Pošto je korišten miješani uzorak rađena je jedna biološka replika, a za svaki parametar urađene su najmanje tri tehničke replike.



Slika br. 1 Priprema biljnog ekstrakta lista Ficus carica L. Izvor:autor

Određivanje sadržaja ukupnih fenolnih jedinjenja fenola

Određivanje sadržaja ukupnih fenolnih jedinjenja je vršeno prema metodi Singleton i Rossi (1965) [6]. Reakciona smješa je sadržala 100 μL biljnog ekstrakta (ekstrakt razblažen sa 80% etanolom u odnosu 1:4), 450 μL Folin-Čikalteovog reagensa (razblažen u odnosu 1:3 sa destilovanom vodom) i 450 μL 1M Na_2CO_3. Smješa je potom inkubirana 1 h na tamnom. Nakon posljednje inkubacije mjerena je apsorbanca na spektrofotometru na talasnoj dužini od 724 nm. Kvantifikacija sadržaja fenolnih jedinjenja je izvršena na osnovu jednačine pravca kalibracione krive za galnu kiselinu. Kao slijepa proba se koristi ista zapremina 80% etanola umjesto biljnog ekstrakta. Sva mjerenja su rađena u triplikatu.

Određivanje sadržaja ukupnih flavonoida

Sadržaj ukupnih flavonoida je određen metodom koju su dali Chang i sar. (2002) [7]. Reakciona smješa je sadržavala 90 μL biljnog ekstrakta, 270 μL metanola, 18 μL 0,3 M Na-acetata, 18 μL $AlCl_3$ i 510 μL vode. Smješa je potom inkubirana 30 min na tamnom. Nakon inkubacije izmjerena je apsorbanca na talasnoj dužini od 415 nm. Kao slijepa proba se koristi ista smješa samo se umjesto uzorka dodaje ekvivalentna zapremina 80% etanola. Koncentracija flavonoida određena je na osnovu jednačine pravca standardne krive koja je dobijena mjerenjem apsorbance standardnog jedinjenja kvercetina.

Određivanje sposobnosti uklanjanja ABTS radikala

Određivanje sposobnosti uklanjanja ABTS radikala (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina)) je rađeno prema metodi koju su dali Re i sar. (1999) [8]. Ova metoda podrazumijeva pripremu radnog rastvora miješanjem jednakih zapremina ABTS rastvora (7 mM ABTS) i K-persulfata ($K_2S_2O_8$; 2,4 mM) u cilju dobijanja stabilnog radikala, i inkubiranjem 24 h na tamnom. Uzorci su pripremljeni tako što je 0,5 mL ekstrakta pomiješano sa 0,5 mL ABTS radnog rastvora nakon čega slijedi inkubacija 7 min na tamnom. Radni rastvor ABTS se dobija podešavanjem apsorbance na 734 nm na približnu vrijednost od 0,750 nakon razblaživanja osnovnog rastvora sa metanolom. Nakon pripreme uzoraka i inkubacije slijedi mjerenje apsorbance na 734 nm. Kao kontrola koristi se 0,5 mL rastvora ABTS i 0,5 mL 80% etanola.

IC_{50} predstavlja vrijednost koncentracije fenolnih jedinjenja za koju se postiže 50% inhibicije nestanka ABTS radikala i izračunava se prema formuli:

$$IC_{50} = \frac{A\,(kontrole) - A\,(uzorka)}{A(kontrole)} x100$$

Određivanje uku0pnog antioksidativnog kapaciteta fosfomolibdenskom metodom

Ovu metodu su dali Prieto i sar. (1999) [9]. Ona se zasniva na redukciji Mo (VI) do Mo (V) djelovanjem etanolnih ekstrakata koji daju zeleni kompleks. Radni rastvor rastvor sadrži 28 mM K_3PO_4, 0,6 M H_2SO_4 i 4 mM $(NH_4)Mo_7O_{24}$. Za svaku koncentraciju fenolnih jedinjenja biljnog ekstrakta se pravi slijepa proba na način da se pomiješa 1 mL radnog rastvora bez molidbena i 0,1 mL biljnog ekstrakta. Kontrola sadrži 1 mL radnog rastvora i 0,1 mL 80% etanola.

Uzorci se zatim pripremaju na način da se 1 mL radnog rastvora pomiješa sa 0,1 mL biljnog ekstrakta, miješaju se na Wortexu te inkubiraju 2 h na 95 °C. Nakon inkubacije uzorci su ohlađeni i mjerena im je apsorbanca na 695 nm.

Kao standardi su korišteni vitamin E i vitamin C na osnovu čijih jednačina pravca je izračunat antioksidativni kapacitet fosfomolibdenskom metodom.

Određivanje sposobnosti ekstrakta da redukuje bakar

CUPRAC (*eng. Cupric Reducing Antioxidant Capacity*) metoda je opisana od strane Apaka i sar. (2007) [10]. Uzorak se sastoji od 0,3 mL 0,01 M $CuCl_2$, 0,3 mL 10 mM acetatnog pufera pH 7, 0,3 mL 7,5 mM etanolnog rastvora neokuprina (2,9-dimetil-1,10-fenantrolin) i 0,05 mL biljnog ekstrakta. Uzorci se izmiješaju na Wortexu i inkubiraju 30 min na sobnoj temperaturi. Kontrola se priprema na isti način, s tim da se umjesto uzorka dodaje ekvivalentna zapremina 80% etanola. Apsorbanca se mjeri nakon inkubacije na talasnoj dužini od 450 nm. Kao standard se koristi troloks u opsegu koncentracija od 20 do 300 μg/mL, te se sposobnost biljnog ekstrakta da redukuje bakar računa na osnovu jednačine pravca dobijene na osnovu standardne krive za troloks.

Određivanje sposobnosti ekstrakta da redukuje gvožđe

FRAP (*eng. Ferric reducing antioxidant power*) metod je rađen prema radu Benzie i Strain (1996) [11]. Radni rastvor sadrži 10 zapremina 300 mM acetatnog pufer pH 3,6, 1 zapreminu 10 mM TPTZ-a (2,4,6-tris(2-piridil)-1,3,5-triazin) rastvorenog u 40 mM HCl i 1 zapreminu 20 mM $FeCl_3$. Potom se 2 mL radnog rastvora pomiješa sa 50 μL biljnog uzorka i 150 μL vode te slijedi inkubacija od 4 min na 37 °C. Slijepa proba se priprema korištenjem iste zapremine 80% etanola umjesto biljnog ekstrakta. Vrijednost slijepe probe se oduzima od vrijednosti uzorka. Apsorbanca se mjeri nakon 4 min od početka reakcije na 593 nm talasne dužine.

Tankoslojna hromatografija (TLC)

Tankoslojna hromatografija (*eng. Thin Layer Chromatography*) primijenjena je kao metoda za razdvajanje i identifikaciju analiziranih komponenti na osnovu njihove različite raspodjele između stacionarne i mobilne faze. Kao stacionarna faza korištene su TLC ploče (20 x 20 cm) presvučene silika-gelom, dok je mobilna faza predstavljala odgovarajući sistem rastvarača odabran u skladu sa karakteristikama analiziranih jedinjenja. U radu je korištena smješa organskih rastvarača: etil acetat-mravlja kiselina-sirćetna kiselina-destilovana voda u omjeru 100:11:11:26. Uzorci su nanošeni na početnu liniju ploče pomoću mikropipete u zapremini od 20 μL. Fenolna jedinjenja koja su korištena kao standardi (kvercetin, hidroksibenzojeva kiselina, vanilična kiselina, galna kiselina, hlorogena kiselina, kafeična kiselina, reservatol, kumarična kiselina) su pravljena u koncentraciji od 5 mg/mL u etanolu. Nakon sušenja nanesenih uzoraka, ploče su postavljene u zatvorenu hromatografsku komoru prethodno zasićenu parama mobilne faze. Razvijanje hromatograma trajalo je do dostizanja par centimetara od kraja ploče, nakon čega su izvađene iz komore, obilježen je front rastvarača i ostavljene su da se osuše na sobnoj temperaturi. Vizualizacija razdvojenih komponenti izvršena je pomoću UV svjetlosti. Identifikacija komponenti zasnivala se na poređenju njihovih migracionih karakteristika sa standardima i određivanju vrijednosti retencionog faktora (Rf), koji je izračunat kao odnos udaljenosti koju je prešla analizirana supstanca i udaljenosti koju je prešao front mobilne faze.

Određivanje *in vitro* inhibitornog dejstva biljnog ekstrakta na aktivnost α-amilaze

Metoda zahtjeva prethodno pripremljenu seriju rastvora biljnog ekstrakta u 80% etanolu različitih koncentracijafenolnih jedinjenja: (15, 35, 50, 100, 200, 300, 400, 540) μg/

mL. Rastvor α-amilaze je pripremljen na način da je 0,025 g enzima (svinjskog pankreasnog porijekla) rastvoreno u 50 mL 6 mM NaPi (natrijum fosfatni) pufera. Za mjerenje apsorbance uzorka potrebno je pomiješati 100 µL biljnog ekstrakta određene koncentracije sa 200 µL rastvora α-amilaze nakon čega slijedi inkubacija 10 min na 37 °C, a potom se dodaje 0,1 % rastvor skroba nakon čega ponovo slijedi inkubacija 10 min na 37 °C. Na kraju za prekid reakcije dodaje se 100 µL 1 M HCl te 400 µL Lugolovog rastvora nakon čega slijedi mjerenje apsorbance na 630 nm. Slijepa proba bez skroba je pripremljena na isti način osim što je umjesto biljnog ekstrakta i rastvora skroba korištena ekvivalentna zapremina 6 mM NaPi pufera pH 6,8. Proba bez α-amilaze je pripremljena na isti način osim što je umjesto biljnog ekstrakta i rastvora enzima korištena ekvivalentna zapremina NaPi pufera. Slijepa proba je pripremljena sa 100 µL uzorka i 900 µL NaPi pufera.

Statistička analiza

Svi rezultati su obrađeni u Microsoft Excel (Microsoft offiice professional 2016) i predstavljeni kao srednje vrijednosti ± standardna devijacija sa n=3.

REZULTATI

Kvantitativna i kvalitativna analiza fenolnih jedinjenja

Sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja u ekstraktu smokve je bio 16,255 ± 0,484 mg GAE/g DW, dok je sadržaj flavonoida bio 5,203 ± 0,0117 mg QE/g DW (Tabela br. 1). Rezultati su izraženi kao ekvivalenti galne kiseline za fenolna jedinjenja i ekvivalenti kvercetina za flavonoide po gramu suve mase biljnog tkiva.

Antioksidativna aktivnost

Sposobnost neutralizacije $ABTS^{\bullet+}$ radikala povećavala se sa porastom koncentracije fenolnih jedinjenja i iznosila je 30,64 ± 0,58% za koncentraciju od 1 µg/mL, 68,02 ± 1,30% za koncentraciju od 5 µg/mL, 84,20 ± 6,22% za koncentraciju od 7 µg/mL i 99,33 ± 0,17% za koncentraciju od 10 µg/mL. Izračunata IC_{50} vrijednost iznosila je 3,01 ± 0,14 µg/mL za sposobnost neutralizacije $ABTS^{\bullet+}$ radikala (Tabela br. 1).Ukupni antioksidativni kapacitet mjeren fosfomolibdenskom metodom iznosio je 285,33 ± 42,96 µg/mL, kada je izražen kao ekvivalent vitamina E, odnosno 140,38 ± 20,29 µg/mL kao ekvivalent vitamina C (Tabela br. 1).

Antioksidativni kapacitet ekstrakta lista *F. carica* pri koncentraciji fenolnih jedinjenja od 7 µg/mL određen CUPRAC metodom iznosio je 21,167 ± 6,94 µg ekvivalenta troloksa/mL (Tabela 1). FRAP vrijednost za koncentraciju fenolnih jedinjenja od 0,54 mg/mL iznosila je 0,582 ± 0,035 mmol Fe^{2+}/L, dok je pri koncentraciji od 7 µg/mL iznosila 0,007 ± 0,001 mmol Fe^{2+}/L. Redukcijska sposobnost povećavala se sa koncentracijom ekstrakta (Tabela br. 1).

TLC analizom detektovano je prisustvo jedinjenja koja odgovaraju kvercetinu (Rf=0,28), hlorogenoj kiselini (Rf=0,47) i galnoj kiselini (Rf=0,82). Dodatno su registrovane mrlje pri Rf vrijednostima 0,55, 0,15 i 0,06, što ukazuje na prisustvo drugih komponenti u ekstraktu, ali zbog nedostatka standarda nismo ih identifikovali (Slika br. 2, Tabela br. 2).

Određivanje *in vitro* inhibitornog dejstva biljnog ekstrakta na aktivnost α-amilaze

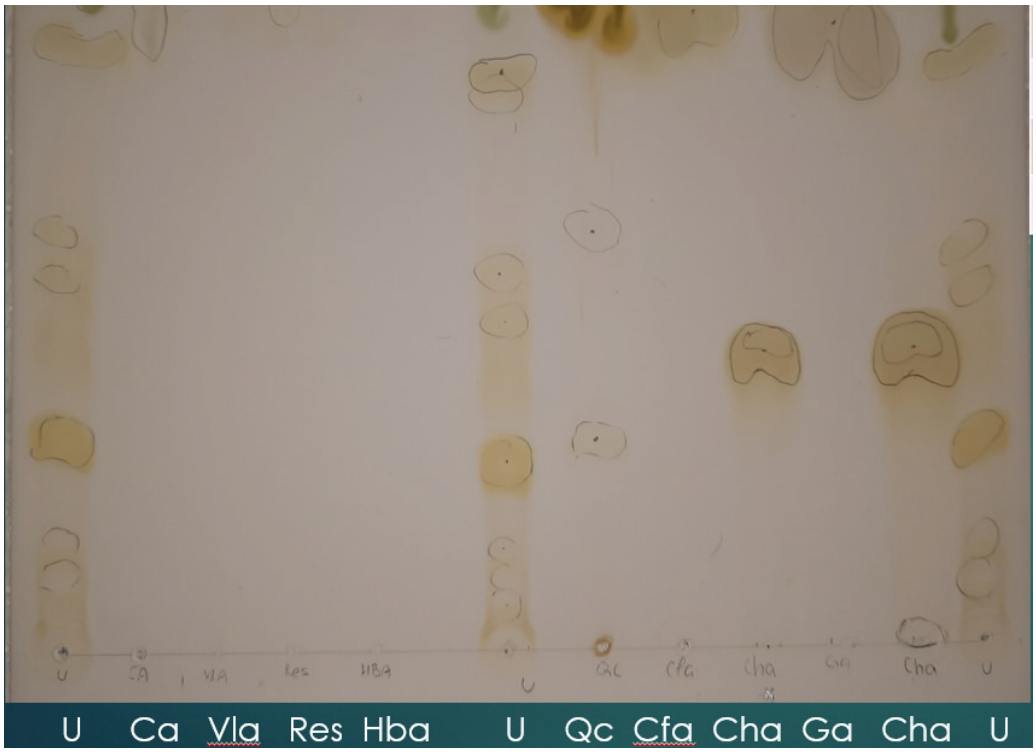
Ekstrakt *F. carica* je pokazao sposobnost inhibicije α-amilaze zavisnu o koncentraciji fenolnih jedinjenja. U ispitivanom rasponu koncentracija fenolnih jedinjenja od 15 do 540

μg/mL, procenat inhibicije se kretao od 9,77% do 92,11%, sa izračunatom IC_{50} vrijednošću od 305.59 ± 8.02 μg/mL (Tabela br.1).

Tabela 1. Koncentracija fenolnih jedinjenja, antioksidativni kapacitet i antidijabetička svojstva ekstrakta lista *Ficus carica* L.

Koncentracija fenolnih jedinjenja i flavonoida		Antioksidativni kapacitet						Inhibicija α-amilaze
Fenolna jedinjenja (mgGAE/gDW)	Flavonoidi (mgQE/gDW)	ABTS IC_{50} (μg/mL)	FRAP (mmolFe^{2+}/L)		CUPRAC (μg troloksa/mL)	PM (μg/mL)		IC_{50} (μg/mL)
			Koncentracija fenolnih jedinjenja		Koncentracija fenolnih jedinjenja	ekvivalenata Vit. C	ekvivalenata Vit. E	
			7 μg/mL	540 μg/mL	7 μg/mL			
16,25±0,48	5,20±0,01	3.01 ± 0.14	0,007±0,0009	0,58±0,03	21,17±0,69	140,38± 20,29	285,33± 42,96	305.59 ± 8.02

GAE-galna kiselina; DW-suva masa; QE-kvercetin; ABTS-metoda uklanjanja ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina)) radikala; FRAP-*Ferric reducing antioxidant power*; CUPRAC-*Cupric Reducing Antioxidant Capacity*; PM-fosfomolibdenska reakcija



Slika br. 2 TLC hromatogram ekstrakta lista smokve i referentnih standarda
U-uzorak, Qc-kvercetin, Hba-hidroksibenzojeva kiselina, Vla-vanilična kiselina, Ga-galna kiselina, Cha-hlorogena kiselina, Cfa- kafeinska kiselina, Res- reservatol, Ca-koumarinska kiselina

Tabela br. 2. Rf vrijednosti detektovanih jedinjenja u ekstraktu lista smokve i standardnih jedinjenja			
Rf vrijednost jedinjenja ekstrakta	Standard	Rf standarda	Podudarnost
0,82±0,021	Galna kiselina	0,86	moguća podudarnost
0,82±0,021	Kafeična kiselina	0,87	nema podudarnosti
0,55±0,030	–	–	nema podudarnosti
0,47±0,025	Hlorogena kiselina	0,41	moguća podudarnost
0,28±0,021	Kvercetin	0,29	moguća podudarnos
0,15±0,012	–	–	nema podudarnosti
0,06±0,01	–	–	nema podudarnosti

DISKUSIJA

Kvantitativna i kvalitativna analiza fenolnih jedinjenja

Dobijena vrijednost za koncentraciju fenolnih jedinjenja u našem radu (Tabela br. 1) je nešto niža u poređenju sa rezultatima koje su objavili Abdolinejad i saradnici [12] za dvije iranske sorte smokve (*Sabz* i *Tors*) sa vrijednostima od, 18,52 do 23,604 mg GAE/g DW.

Za ekstrakciju fenolnih jedinjenja iz listova smokve Alcántara i saradnici [13] su koristili vodu i 50% etanol. Primjenom ove metode autori su utvrdili sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja od 21,2 mg GAE/g DE(suvog ekstrakta) za vodeni ekstrakt i 17,1 mg GAE/g DE za ekstrakt u 50% etanolu.

Renda i saradnici [14] su odredili sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja za list od 28,38 ± 2,19 mg GAE/g DW u dihlormetanskom ekstraktu, 29,93 ± 1,27 mg GAE/g DW u n-heksanskom ekstraktu, 33,72 ± 1,55 mg GAE/g DW u metanolnom ekstraktu, 36,88 ± 5,64 mg GAE/g DW u vodenom ekstraktu i 72,58 ± 4,52 mg GAE/g DW u n-butanolskom ekstraktu.

S druge strane, koncentracija fenolnih jedinjenja u našem radu su bile više u odnosu na rezultate koje su objavili Ivanov i saradnici [15] za različite ekstrakte lista smokve sakupljene u Plovdivu u Bugarskoj. U navedenom radu autori su utvrdili sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja u rasponu od 0,6 (ekstrakcija u n-heksanu) do 6,6 mg GAE/g DW (ekstrakcija u vodi), dok su vrijednosti za metanolni, etanolni i acetatni ekstrakt iznosile 3,9 mg GAE/g DW i 2,5 mg GAE/g DW, 1,5 mg GAE/g DW, respektivno. Manji sadržaj fenolnih jedinjenja dobijen u njihovom istraživanju može biti posljedica korištenja 95% etanola kao ekstrakcionog rastvarača jer u 80% etanolu veće prisustvo vode u smjesi povećava sposobnost ekstrakcije polarnih fenolnih jedinjenja iz biljnog tkiva.

Boukhalfa i saradnici [16], su u metanolnom ekstraktu lista *F. carica* izmjerili sadržaj ukupnih fenola od 19,78 mg GAE/g DW.

Prema istraživanjima koja su obavili Mahmoudi i saradnici [17], raspon ukupnog sadržaja fenolnih jedinjenja u različitim sortama *F. carica* sakupljenih u Alžiru je bio u

opsegu od 42.889 ± 0.357 mg GAE/g DE (suvog ekstrakta) do 58.704 ± 0.455 mg GAE/g DE. Mahmoudi i saradnici koristili su Soxhlet ekstrakciju u metanolu, dok je u našem istraživanju korišten 80% etanol kao ekstrakcioni rastvarač. Takođe, rezultati su izraženi kao mg GAE/g suvog ekstrakta te poređenje ne može biti direktno budući da vrijednosti izražene prema masi ekstrakta često daju veće koncentracije fenolnih jedinjenja nego vrijednosti izražene prema početnoj masi biljnog materijala.

Orhan i saradnici [18], odredili ukupan sadržaj fenolnih jedinjenja u ekstraktima listova *Ficus carica* var. *domestica.* U njihovom istraživanju n-butanolni ekstrakt listova sadržavao je 85,9 ± 3,2 mg GAE/g ekstrakta.

U radu koji su objavili Mopuri i sar. [19] pokazano je da ukupni sadržaj fenolnih jedinjenja u listovima smokve sakupljenim u Seshachalam šumi, u Indiji, bio različit za različita ekstrakciona sredstva. Tako je koncentracija fenolnih jedinjenja za etanolni ekstrakt iznosila 54,14 ± 4,325 mg GAE/g ekstrakta, za vodeni ekstrakt 32,45 ± 5,058 mg GAE/g ekstrakta, etilacetatni ekstrakt 12,22 ± 0,124 mg GAE/g ekstrakta. Ovdje treba naglasiti da su rezultati izraženi po g ekstrakta pa se ne mogu direktno upoređivati sa našim rezultatima.

Treba imati u vidu da Folin-Čikalteova metoda nije potpuno specifična isključivo za fenolna jedinjenja, jer reaguje i sa drugim jedinjenjima redukcionih svojstava poput askorbinske kiseline i pojedinih redukujućih šećera. Zbog toga dobijene vrijednosti predstavljaju procjenu ukupnog redukcionog kapaciteta uzorka i pokazatelji su ukupnog sadržaja fenolnih jedinjenja. Na rezultate može uticati primjenjeni rastvarač, način ekstrakcije, geografsko porijeklo biljaka kao i period uzorkovanja.

Koncentracija flavonoida u ekstraktu lista smokve je bila 5,2 mg QE/g DW (Tabela br. 1). Vrijednosti za koncentraciju fenolnih jedinjenja dobijene u ovom radu više su od rezultata objavljenih u radu Ivanov i saradnici [15], koji su primjenom slične Al^{3+} kolorimetrijske metode odredili sadržaj ukupnih flavonoida u rasponu od 0,3 mg QE/g DW u n-heksanskom ekstraktu do 2,1 mg QE/g DW u vodenom ekstraktu, dok su vrijednosti za acetonski, etanolni i metanolni ekstrakt iznosile 1,3, 1,6 i 1,4 mg QE/g DW, redom.

Boukhalfa i saradnici [16] su pokazali sadržaj flavonoida od 9,72±0,09 mg QE/g DW.

Orhan i saradnici [18] su u hloroformskom ekstraktu lista *F. carica* utvrdili znatno viši sadržaj ukupnih flavonoida 252,5 ± 1,1 mg QE/g ekstrakta, što se može objasniti razlikama u vrsti ekstrakta, načinu izražavanja rezultata i primijenjenim uslovima ekstrakcije.

Mopuri i saradnici (2018) [19], utvrdili su sadržaj ukupnih flavonoida od 9,24 ± 0,22 mg QE/g ekstrakta u etilacetatu, 24,52 ± 1,10 mg QE/g ekstrakta u etanolnom ekstraktu i 24,05 ± 3,02 mg QE/g ekstrakta u vodenom ekstraktu.

Yassien i saradnici [20] su zabilježili vrijednost od 43,92 mg QE/g suhog ekstrakta lista.

Mahmaudi i saradnici [17] su pokazali da se sadržaj ukupnih flavonoida za različite sorte *F.carica* iz Alžira, kreće u rasponu od 11,67 ± 0,04 do 16,21 ± 0,16 mg QE/g DE.

U ekstraktu lista smokve tankoslojnom hromatografijom smo detektovali prisustvo flavonoida kvercetina i dvije fenolne kiseline (hlorogene i galne kiseline) (Slika 2, Tabela br. 2).

Dobijeni rezultati u skladu su s nalazima Abdulah i saradnika [24] koji su TLC analizom utvrdili prisustvo flavonoida i fenolnih jedinjenja, kao i drugih sekundarnih metabolita, uključujući terpenoide, kumarine, saponine, alkaloide i glikozide.

Takođe, Al Jabri i saradnici [34] primjenom TLC i HPLC (*eng. High-Performance Thin-Layer Chromatography)* metoda identifikovali su kvercetin kao dominantni flavonoid, uz prisustvo rutina u manjim količinama, što potvrđuje značaj kvercetina kao jednog od glavnih flavonoida lista smokve.

Dewi i saradnici [35] u etanolnom ekstraktu lista *F. carica* ispitivali su kvercetin i luteolin kao bioaktivna jedinjenja u *in silico* analizi imunomodulatornog potencijala, pri čemu

su oba jedinjenja pokazala afinitet vezivanja prema proteinima interferon-gama (IFN-γ), faktor nekroze tumora alfa (TNF-α) i interleukin-2 (IL-2), potvrđujući njihov značaj u biološkoj aktivnosti lista smokve.

Rezultati ovog istraživanja djelimično su u skladu i sa nalazima Agatonović-Kustrin i saradnika [32], koji su primjenom HPTLC analize utvrdili prisustvo flavonoida i polifenolnih kiselina, uključujući hlorogenu i kafeičnu kiselinu.

Slične rezultate objavili su i Renda i saradnici [14], koji su LC–HRMS (*eng. Liquid Chromatography–High-Resolution Mass Spectrometry*) analizom n-butanolskog ekstrakta lista *F. carica* identifikovali 27 fenolnih jedinjenja. Najzastupljeniji su bili rutin (40,13 g/kg), fumarična kiselina (4,658 g/kg), hiperozid (1,767 g/kg) i hlorogena kiselina (1,517 g/kg), dok su među identifikovanim jedinjenjima bili i kvercetin, vanilična kiselina i kafeična kiselina.

Razlike između dobijenih rezultata i podataka iz literature mogu se objasniti primjenom različitih analitičkih metoda. TLC predstavlja jednostavnu i brzu metodu za preliminarnu kvalitativnu identifikaciju fenolnih jedinjenja, dok HPTLC i posebno LC–HRMS omogućavaju znatno osjetljiviju identifikaciju i kvantifikaciju većeg broja jedinjenja.

Antioksidativna aktivnost

Dobijena vrijednost za sposobnost uklanjanja ABTS radikala u našem radu značajno odstupa od rezultata dostupnih u literaturi. Prema dobijenoj vrijednosti IC_{50} od 3.01 ± 0.14 μg/mL ispitivani list smokve pokazuje izuzetnu antioksidativnu vrijednost mjerenu ABTS metodom (Tabela br. 1).

Boukhalfa i saradnici [16], za metanolni ekstrakt lista smokve navode IC_{50} od 288,3 ± 4,98 μg/mL, dok su Ergul i saradnici [21] odredili vrijednosti od 559,39 μg/mL za metanolni i 428,51 μg/mL za vodeni ekstrakt.

Sweidan i saradnici [22] takođe su zabilježili znatno višu vrijednost od 0,488 ± 0,030 mg/mL, odnosno 488 ± 30 μg/mL.

Posebno je značajno da su Maulid i saradnici [23] za 70% etanolni ekstrakt lista *Ficus benjamina* odredili IC_{50} od 28,4 μg/mL, dok je za vitamin C dobijena vrijednost 3,1 μg/mL.

Prema Abdulah i sar. [24] pokazano je da antioksidativna aktivnost značajno zavisi od vrste rastvarača korištenog za ekstrakciju. U njihovom istraživanju najizraženiju aktivnost pokazala je metanolna frakcija, sa IC_{50} vrijednošću od 72,6 ± 0,06 μg/mL i maksimalnom inhibicijom slobodnih radikala od 72,31%, što ukazuje na najveću sposobnost neutralizacije ABTS radikala među ispitivanim ekstraktima. Sirovi metanolni ekstrakt pokazao je umjerenu antioksidativnu aktivnost (IC_{50}=194 ± 0,07 μg/mL, maksimalna inhibicija 60,94%), dok je dihlormetanski ekstrakt imao nešto slabiju aktivnost (IC_{50}=227,74 ± 0,08 μg/mL, maksimalna inhibicija 52,45%). Najniži antioksidativni potencijal zabilježen je kod heksanske frakcije, za koju nije bilo moguće odrediti IC_{50} vrijednost zbog maksimalne inhibicije od svega 29,87%. Kao referentni antioksidans korišten je troloks, koji je pokazao znatno veću antioksidativnu aktivnost u odnosu na sve ispitivane biljne ekstrakte, sa IC_{50} vrijednošću od 5 ± 0,03 μg/mL i maksimalnom inhibicijom od 93,29% [24].

Akhtar i sar. [25] su analizirali antioksidativne aktivnosti ABTS metodom osamnaest kultivara lista *F.carica*. Ekstrakti lista su dobijeni maceracijom i ultrazvučnom ekstrakcijom. Autori su utvrdili veoma visok kapacitet neutralizacije ABTS radikala, pri čemu se procenat inhibicije kretao od 96,61 ± 0,22% do 99,33 ± 0,23% za ekstrakte dobijene maceracijom, odnosno od 97,82 ± 0,23% do 99,79 ± 0,13% za ekstrakte dobijene ultrazvučnom ekstrakcijom. Antioksidativni kapacitet izražen kao troloks ekvivalentni (TEAC) iznosio je 57,48 ± 0,13 do 58,57 ± 0,07 mg TE (troloks ekvivalenta)/g DW, pri čemu je kultivar *Violette Solise* pokazao najveću, a kultivar *Alma* najmanju antioksidativnu aktivnost. Veća efikasnost ultrazvučne ekstrakcije u odnosu na maceraciju, može se objasniti intenzivni-

jim razaranjem ćelijskih zidova i boljim oslobađanjem fenolnih jedinjenja odgovornih za antioksidativnu aktivnost.

Ukupni antioksidativni kapacitet mjeren fosfomolibdenskom metodom našem radu je bio viši izražen u odnosu na ekvivalente vitamin E (Tabela br. 1). Tikent i saradnici [26] su primjenom fosfomolibdenske metode ispitivali hidroetanolne ekstrakte listova *F. carica* različitih marokanskih kultivara. Najveći ukupni antioksidativni kapacitet zabilježen je kod hidroetanolnog ekstrakta kultivara *Malha* i iznosio je 179,0 ± 2,1 μg vitamina C/mg ekstrakta, dok su niže vrijednosti utvrđene za hidroetanolne ekstrakte kultivara *Ghoudane* sa 133,0 ± 9,2 μg vitamina C/mg ekstrakta, *Chetoui* sa 113,0 ± 6,5 μg C/mg ekstrakta i *Onk Hmam* pri čemu je najmanja vrijednost iznosila 92,9 ± 9,7 μg C/mg ekstrakta.

S druge strane, Abdel-Rahman i saradnici [27], odredili su ukupni antioksidativni kapacitet etanolnog ekstrakta lista *F.carica* (70% etanol) i dobili vrijednost od 0,569 mg vitamina C/g ekstrakta.

Konyalıoğlu i sar. [28] procijenili su ukupni antioksidativni kapacitet n-heksanskog, etanolnog, metanolnog, etilacetatnog i vodenog ekstrakta lista *F. carica* primjenom fosfomolibdenske metode. Najveći ukupni antioksidativni kapacitet zabilježen je kod vodenog ekstrakta (23,507 ± 1,154 mM α-TAE (α-tokoferol acetat ekvivalenata)/g suve mase), zatim etilacetatnog (22,950 ± 1,731 Mm α-TAE/g DW) i metanolnog ekstrakta (17,126 ± 1,542 mM α-TAE/g DW), dok su etanolni (14,546 ± 1,760 mM α-TAE/g DW) i n-heksanski ekstrakt (14,040 ± 1,417 mM α-TAE/g DW) pokazali nešto niže vrijednosti. Iako su rezultati izraženi u različitim jedinicama i stoga nisu direktno uporedivi s rezultatima ovog istraživanja, oba rada potvrđuju da etanolni i hidroetanolni ekstrakti lista *F. carica* posjeduju izražen ukupni antioksidativni kapacitet.

Naši rezultati su pokazali da ekstrakt lista smokve ima sposobnost redukcije Fe^{3+} jona i da je ta sposobnost izraženija za veće koncentracije fenolnih jedinjenja (0,581 mmolFe^{2+}/L za koncentraciju fenolnih jedinjenja od 0,54 mg/mL, (Tabela 1). Prema Ergul i sar. [21] metanolni ekstrakt lista smokve pokazao je veću sposobnost redukcije Fe^{3+} u Fe^{2+} u odnosu na vodeni ekstrakt pri višim koncentracijama, dok pri nižim koncentracijama između ekstrakata nisu uočene značajne razlike u redukcijskom kapacitetu.

Slični rezultati zabilježeni su i u istraživanju Abdulah i saradnika [24] gdje su različite frakcije ekstrakta lista *F. carica* pokazale izraženu redukcionu sposobnost u FRAP testu. Najveća vrijednost zabilježena je za metanolnu frakciju (92,97 ± 0,10 mM Fe^{2+}/mg uzorka), zatim za sirovi metanolni ekstrakt (87,88 ± 0,08 mM Fe^{2+}/mg uzorka), dihlormetansku frakciju (82,16 ± 0,02 mM Fe^{2+}/mg uzorka) i heksansku frakciju (75,86 ± 0,12 mM Fe^{2+}/mg uzorka), dok je standard kvercetin pokazao znatno veću redukcionu sposobnost (353,08 ± 0,06 mM Fe^{2+}/mg) [24].

Boukhalfa i saradnici [16] su ispitivali antioksidativni potencijal ekstrakata lista i grančica *F. carica* primjenom FRAP metode. Autori su dobili IC_{50} vrijednosti od 50,8 μg/mL za ekstrakt lista. Takođe su naveli da su Shi i saradnici utvrdili redukcionu moć ekstrakta lista *F. carica* od približno 33% pri koncentraciji od 0,25 mg/mL, što potvrđuje izražen antioksidativni potencijal ove biljne vrste.

Ivanov i sar. [15] u radu u kojem je antioksidativna aktivnost različitih ekstrakata lista *F. carica* izražena kao mM troloks ekvivalenata po gramu suve mase (mM TE/g DW) pokazuju najveću redukcionu aktivnost vodenog ekstrakta (53,9 mM TE/g DW), zatim metanolnog (30,7 mM TE/g DW), etanolnog (19,3 mM TE/g DW), acetonskog (8,3 mM TE/g DW) i heksanskog ekstrakta (1,3 mM TE/g DW).

Razlike u načinu izražavanja rezultata (mmol Fe^{2+}/L, mM TE/g DW, μmol TE/g ili IC_{50}) posljedica su različitih metodologija i načina proračuna, zbog čega direktno numeričko poređenje nije moguće.

Etanolni ekstrakt smokve je pokazao sposobnost redukcije Cu^{2+} (Tabela br. 1).

Guler i saradnici [29] su primjenom CUPRAC metode ispitivali antioksidativni kapa-

citet metanolnog i etanolnog ekstrakta lista *F. carica*. Pri koncentraciji od 10 mg/mL metanolni ekstrakt pokazao je veći redukcioni kapacitet (oko 4 μg/mL TE) u odnosu na etanolni ekstrakt (oko 3,5 μg/mL TE). Najveća antioksidativna aktivnost zabilježena je pri koncentraciji od 100 mg/mL, gdje je metanolni ekstrakt dostigao približno 17 μg/mL TE, dok je etanolni ekstrakt pokazao nižu vrijednost od približno 11 μg/mL TE. Ovi rezultati ukazuju na koncentracijski zavisno povećanje redukcionog kapaciteta ekstrakata, pri čemu je metanol bio efikasniji rastvarač za ekstrakciju jedinjenja odgovornih za antioksidativnu aktivnost.

Malefaki i sar. [30] su primijenili CUPRAC metodu prema Apaku i saradnicima u istraživanju u kome su poredili različite ekstrakte lista *F. carica*. Prema njihovim rezultatima najveći antioksidativni kapacitet pokazao je ekstrakt dobijen ekstrakcijom sa 40% etanolom i vodom (47,2 ± 1,5 mg troloks ekvivalenta/g DW), zatim metanolni ekstrakt (44,8 ± 2,0 mg TE/g DW), dok je etilacetatni ekstrakt imao znatno nižu vrijednost (9,5 ± 0,8 mg TE/g DW).

Slični rezultati objavljeni su u istraživanju Elshaafi i sar. [31] u kojem je ispitivan uticaj različitih postupaka sušenja na antioksidativnu aktivnost tri kultivara lista smokve (BTM 6, MD-J i TGF-J). Načina sušenja je značajno uticao na antioksidativni kapacitet određen CUPRAC metodom. Najveće vrijednosti zabilježene su kod listova sušenih u sušnici na 40 °C, pri čemu je kultivar *BTM 6* pokazao najveću aktivnost (3893 ± 162 mg TE/100 g DW), zatim kultivar *TGF-J* (3473 ± 61 mg TE/100 g DW) i *MD-J* (3011 ± 176 mg TE/100 g DW). Smanjenje antioksidativne aktivnosti uočeno je nakon sušenja na višim temperaturama (50 i 60 °C), dok su svježi listovi pokazali najniže CUPRAC vrijednosti (434–634 mg TE/100 g DW). Autori su zaključili da način sušenja značajno utiče na očuvanje bioaktivnih jedinjenja odgovornih za antioksidativnu aktivnost, pri čemu sušenje na 40 °C najbolje čuva fenolna jedinjenja i flavonoide.

Utvrđene razlike između rezultata mogu biti zbog uticaja polarnosti rastvarača na efikasnost ekstrakcije fenolnih i flavonoidnih jedinjenja, pri čemu su polarniji rastvarači pokazali veću sposobnost ekstrakcije jedinjenja odgovornih za antioksidativni potencijal. Razlike u sadržaju bioaktivnih komponenti i njihovog dejstva u odnosu na rezultate prethodnih istraživanja mogu biti posljedica međusobnog djelovanja genetičkih karakteristika sorte, klimatskih i geografskih uslova, starosti listova i vremena berbe, kao i primijenjenih uslova ekstrakcije i analitičkih metoda. Na varijabilnost rezultata mogu dodatno uticati koncentracija i vrsta rastvarača, odnos biljnog materijala i rastvarača, temperatura i trajanje ekstrakcije, kao i uslovi i protokoli korištenih analitičkih metoda.

In vitro inhibicija α-amilaze

Antidijabetička aktivnost ekstrakta smokve je određena kao sposobnost inhibicije α-amilaze (Tabela br. 1). U istraživanju Mopuri i saradnika [19] etanolni ekstrakt lista pokazao je IC_{50} vrijednost od 550,96 ± 33,93 μg/mL, dok su vodeni, etilacetatni i heksanski ekstrakti imali još slabiju inhibitornu aktivnost, sa IC_{50} vrijednostima od 687,50 ± 41,99 μg/mL, 2665,57 ± 514,92 μg/mL i 11611,26 ± 318,90 μg/mL, respektivno.

Vrijednost IC_{50} određena u našem radu ukazuje da je za postizanje 50% inhibicije bila potrebna znatno niža koncentracija fenolnih jedinjenja od one korištene u istraživanju Ergula i saradnika [21] (Tabela br. 1). Navedeni autori su inhibitornu aktivnost procjenjivali pri koncentraciji ekstrakta od 2 mg/mL (2000 μg/mL), pri kojoj su metanolni i vodeni ekstrakti ostvarili 67,32 ± 2,46% i 69,08 ± 6,05% inhibicije α-amilaze. .

Agatonović-Kustrin i saradnici [32] potvrdili su inhibitornu aktivnost ekstrakta lista *F. carica* prema α-amilazi primjenom HPTLC metode kombinovane sa efektno usmjerenom analizom. Autori su utvrdili da je IC_{50} vrijednost ekstrakta bila značajno viša od vrijednosti standardnog inhibitora akarboze, što ukazuje na slabiju inhibitornu aktivnost

sirovog ekstrakta u odnosu na čisti farmakološki inhibitor. Ipak, rezultati potvrđuju prisustvo bioaktivnih komponenti u listu smokve koje mogu doprinijeti inhibiciji α-amilaze.

U istraživanju Ara i saradnika [33] 70% metanolni ekstrakt lista *F. carica* pokazao je najveću inhibitornu aktivnost prema α-amilazi među ispitivanim dijelovima biljke, sa vrijednošću IC_{50} od 0,896 mg/mL (896 μg/mL). Navedena vrijednost bila je znatno viša od IC_{50} vrijednosti dobijene u ovom istraživanju. Biljni materijal u istraživanju Ara i saradnika prikupljen je u Pakistanu, gdje se klimatski i ekološki uslovi razlikuju od uslova područja iz kojeg je prikupljen materijal analiziran u ovom istraživanju.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da ekstrakt lista *Ficus carica* sadrži značajnu količinu fenolnih jedinjenja i flanovonoida kao i izraženu antioksidativnu aktivnost. Takođe, ekstrakt je pokazao *in vitro* sposobnost inhibicije aktivnosti alfa amilaze što ukazuje na njegovu sposobnost da uspori razgradnju skroba i nagli porast koncentracije glukoze u krvi nakon obroka. Buduća istraživanja trebalo bi usmjeriti na identifikaciju i izolaciju pojedinačnih bioaktivnih jedinjenja ekstrakata lista *F. carica* odgovornih za antioksidativnu aktivnost i sposobnost inhibicije alfa amilaze. Posebnu pažnju potrebno je posvetiti optimizaciji postupaka sakupljanja, ekstrakcije, prečišćavanja i standardizaciji.

LITERATURA

[1] Davidović-Plavšić B., Kukavica B. (2023): *Abiotički stres i redoks homeostaza ćelije*. Univerzitet u Banjoj Luci, Banja Luka.

[2] Lenzen S. (2008): Chemistry and biology of reactive species with special reference to the antioxidative defence status in pancreatic β-cells. *Biochimica et Biophysica Acta – General Subjects*, 1780(2), 384–392. doi: 10.1016/j.bbagen.2017.05.013

[3] Zohary D., Hopf M. (2000): *Domestication of Plants in the Old World*. 3rd edition. Oxford University Press. Oxford.

[4] Walia A., Kumar N., Singh R., Kumar H., Kumar V., Kaushik R., i sar.. Bioactive compounds in *Ficus* fruits, their bioactivities, and associated health benefits: A review. Int J Food Sci, 2022, 2022, 6597092, doi:10.1155/2022/6597092.

[5] Ašić S. Ljekovito bilje i njegova upotreba. Zagreb: Erudit; 2002.

[6] Singleton, V. L., & Rossi Jr, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144-158 doi: 10.5344/ajev.1965.16.3.144

[7] Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, *10*(3). doi: 10.38212/2224-6614.2748

[8] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, *26*(9-10), 1231–1237. doi: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3

[9] Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical biochemistry*, *269*(2), 337–341. doi: 10.1006/abio.1999.4019

[10] Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., ... & Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, *12*(7), 1496-1547. doi: 10.3390/12071496

[11] Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, *239*(1), 70–76. doi: 10.1006/abio.1996.0292

[12] Abdolinejad R., Shekafandeh A., Jowkar A. In vitro tetraploidy induction creates enhancements in morphological, physiological and phytochemical characteristics in the fig tree (*Ficus carica* L.). Plant Physiology and Biochemistry, 2021, 166, 191–202, doi:10.1016/j.plaphy.2021.05.047.

[13] Alcántara C., Žugčić T., Abdelkebir R., García-Pérez J. V., Jambrak A. R., Lorenzo J. M., Collado M. C., Granato D., Barba F. J. (2020): Effects of ultrasound-assisted extraction and solvent on the phenolic profile, bacterial growth, and anti-inflammatory/antioxidant activities of Mediterranean olive and fig leaves extracts. *Molecules*, 25, 1718. doi.org/10.3390/molecules25071718.
[14] Renda G., Barut B., Ceren R., Aydin E. (2023): In vitro tyrosinase inhibitory, DNA interaction studies, and LC-HRMS analysis of *Ficus carica* leaves. *Turkish Journal of Chemistry*, 47(2), 465–475. doi.org/10.55730/1300-0527.3552.
[15] Ivanov I., Dencheva N., Petkova N., Denev P. (2018): Determination of total polyphenols and antioxidant activity of different extracts from *Ficus carica* L. leaves. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 53(5), 963–970. doi: 10.15547/artte.2015.01.011
[16] Boukhalfa F., Kadri N., Chibane M. (2018): Antioxidant activity and hypolipidemic effect of *Ficus carica* leaf and twig extracts in Triton WR-1339-induced hyperlipidemic mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 101, 668–674. 10.3233/MNM-17180
[17] Mahmoudi S., Khali M., Benkhaled A., Benamirouche K., Baiti I. Phenolic and flavonoid contents, antioxidant and antimicrobial activities of leaf extracts from ten Algerian *Ficus carica* L. varieties. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2016, 6(3), 239–245, doi:10.1016/j.apjtb.2015.12.010.
[18] Orhan I.E., Ustün O., Sener B. Estimation of cholinesterase inhibitory and antioxidant effects of the leaf extracts of *Anatolian Ficus carica* var. *domestica* and their total phenol and flavonoid contents. Nat Prod Commun, 2011, 6(3), 375–378.
[19] Mopuri R., Ganjayi M., Meriga B., Koorbanally N. A., Islam M. S. (2018): The effects of *Ficus carica* on the activity of enzymes related to metabolic syndrome. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(2), 783–791. doi: 10.1016/j.jfda.2017.03.001
[20] Yassien E.E., Mohamed A.M.S., Mahmoud M.E., Zaki A.M. Sodium benzoate induced toxicities in albino male rats: mitigating effects of *Ficus carica* and *Cymbopogon citratus* leaf extract. Environ Sci Pollut Res, 2022, 29(60), 90567–90579, doi:10.1007/s11356-022-22020-0.
[21] Ergül M., Ergül M., Eruygur N., Ataş M., Uçar E. (2020): In vitro evaluation of the chemical composition and various biological activities of *Ficus carica* leaf extracts. *South African Journal of Botany*, 130, 385–393.doi: 10.4274/tjps.galenos.2018.70037
[22] Sweidan N., Shakya A.K., Mahmoud I., Al Ma'areef A., Ali L., Khalaf H. *Ficus carica* leaf: phytochemical analysis, antioxidant and antibacterial activities. Kuwait Journal of Science, 2026, članak 100555, doi:10.1016/j.kjs.2026.100555.
[23] Wicahyo S. M., Raharjo D., Permata B. R. Antioxidant Activity of Weeping Fig (Ficus benjamina L.) Leaf Extract: A Comparative Analysis Using ABTS and FRAP Assays. Proceedings of the 6th International Conference on Health, Science and Technology (ICOHETECH), 2025, doi:10.47701/4rwtq796.
[24] Abdullah T. A., Mohd K. S., Tajul Ariffly N. 'A., Abu Bakar F., Alwi A. Phytochemical Screening and Antioxidant Properties of *Ficus carica* L. Leaves, Malaysian Journal of Applied Sciences, 2025, 10(1), 56–64, doi: 10.37231/myjas.2025.10.1.427.
[25] Akhtar P., Yaakob Z., Ahmed Y., Shahinuzzaman M., Con M.M. Potential of leaves from eighteen cultivars of *Ficus carica* as antioxidants and profiling of phenolic compounds as active molecules. Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences, 2019, 15(2), 41–60. doi: 10.55730/1300-0527.3552
[26] Tikent A., Laaraj S., Bouddine T., Chebaibi M., Bouhrim M., Elfazazi K., i sar.. Antioxidant potential, antimicrobial activity, polyphenol profile analysis, and cytotoxicity against breast cancer cell lines of hydro-ethanolic extracts of leaves of *Ficus carica* L. from Eastern Morocco. Frontiers in Chemistry, 2024, 12, doi:10.3389/fchem.2024.1505473.
[27] Abdel-Rahman R., Ghoneimy E., Abdel-Wahab A., Eldeeb N., Salem M., Salama E., i sar.. (2021): The therapeutic effects of *Ficus carica* extract as antioxidant and anticancer agent. *South African Journal of Botany*, 141, 273–277. doi.org/10.1016/j.sajb.2021.04.019.
[28] Konyalıoğlu S., Sağlam H., Kıvçak B. (2005): α-Tocopherol, flavonoid, and phenol contents and antioxidant activity of *Ficus carica* leaves. *Pharmaceutical Biology*, 43(8), 683–688. doi: 10.1080/13880200500383538
[29] Güler E.M., Özkan B.N., Bozalı K., Dundar T., Kocyiğit A. *Ficus carica* L. extract: a glimmer of hope on AGS human gastric adenocarcinoma. World Cancer Research Journal, 2024, 11, e2746, doi:10.32113/wcrj_20242_2746.
[30] Xyderou-Malefaki A., Martău G.A., Călinoiu L.F., Ranga F., Vodnar D.C., Dimopoulou M., i sar.. Multicriteria comparison of green and conventional phenolic extraction technologies applied to *Ficus carica* L. leaves. Food Chemistry, 2026, 519, 149512, doi:10.1016/j.foodchem.2026.149512.
[31] Elshaafi I.M., Musa K.H., Abdullah Sani N. Effect of oven and freeze drying on antioxidant activity,

total phenolic and total flavonoid contents of fig (*Ficus carica* L.) leaves. Food Research, 2020, 4(6), 2114–2121, doi:10.26656/fr.2017.4(6).072.
[32] Agatonovic-Kustrin S., Gegechkori V., Kustrin E., Morton D.W. The effect of lactic acid fermentation on the phytochemical content of fig leaf extracts compared to single solvent and sequential solvents extraction. South African Journal of Botany, 2024, 166, 218–225, doi:10.1016/j.sajb.2024.01.050.
[33] Ara I., Naqvi S. H., Rehman N. U., Qureshi M. M. (2020): Comparative antioxidative and antidiabetic activities of *Ficus carica* pulp, peel and leaf and their correlation with phytochemical contents. *Journal of King Saud University – Science*, 32, 2520–2526. doi: 10.23880/oajpr-16000197
[34] Al Jabri H., Nyamathulla S., Hashim N. M., Chung L. Y. (2026): Antioxidant potential and flavonoid marker detection in two *Ficus carica* Linn. varieties. *Pharmacognosy Magazine*, 22(3), 1127–1138. doi. org/10.1177/09731296251391607.
[35] Dewi A., Rahmayanti F., Bagir H., Jannah A.F., Winanta A. Potential of fig leaf (*Ficus carica* L.) as immunomodulatory agent *in vitro* and *in silico*. OnLine Journal of Biological Sciences, 2023, 23(1), 71–80, doi:10.3844/ojbsci.2023.71.80.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF FIG LEAF EXTRACT (Ficus carica L.): ANTIOXIDANT CAPACITY AND α-AMYLASE INHIBITORY ACTIVITY

Author: IVONA IVETIĆ
E-mail: ivona.ivetic@student.pmf.unibl.org
Mentor: Prof. Biljana Kukavica
Biology Department, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka

Introduction: Ficus carica L. (fig) is a plant rich in various bioactive compounds, particularly phenolic compounds and flavonoids. Phenolic compounds can neutralise free radicals, while their potential to inhibit enzymes involved in carbohydrate metabolism has been the subject of numerous studies. Fig leaves have traditionally been used in folk medicine to regulate blood glucose levels, reduce triglyceride concentrations, alleviate digestive disorders, and treat various skin conditions.

Aim: The aim of this study was to determine the total phenolic and flavonoid contents, evaluate the antioxidant capacity of the ethanolic extract of Ficus carica L. leaves, and determine its inhibitory activity against α-amylase.

Materials and Methods: Ficus carica L. leaves were collected in Bosnia and Herzegovina (the Republic of Srpska), dried, and extracted using 80% ethanol. Total phenolic and flavonoid contents, antioxidant capacity (using different assays), and α-amylase inhibitory activity were determined spectrophotometrically. Phenolic compounds were identified by thin-layer chromatography (TLC).

Results: The Ficus carica L. leaf extract showed high total phenolic and flavonoid contents, pronounced antioxidant activity, and α-amylase inhibitory activity. Total phenolic content was 16.255 ± 0.484 mg gallic acid equivalents (GAE)/g dry weight (DW), and total flavonoid content was 5.203 ± 0.0117 mg quercetin equivalents (QE)/g DW. The extract showed strong antioxidant activity, with an IC_{50} value of 3.01 ± 0.14 μg/mL in the ABTS assay. The phosphomolybdenum assay gave a total antioxidant capacity of 285.33 ± 42.96 μg/mL as vitamin E equivalents and 140.38 ± 20.29 μg/mL as vitamin C equivalents. The Cu^{2+}-reducing capacity was 21.167 ± 6.94 μg Trolox equivalents/mL, and the Fe^{3+} reducing capacity was 0.582 ± 0.035 mmol Fe^{2+}/L. Thin-layer chromatography, based on comparison with standards, indicated the presence of gallic acid, chlorogenic acid, and quercetin. The extract also inhibited α-amylase, with an IC_{50} value of 305.59 ± 8.02 μg/mL. Conclusion: Ficus carica L. leaf extract is a significant source of phenolic compounds and flavonoids, with pronounced antioxidant potential and notable in vitro α-amylase inhibitory activity. These results indicate considerable biological potential of fig leaf extract.

Keywords: Ficus carica L.; phenolic compounds; flavonoids; antioxidant activity; α-amylase; TLC

https://doi.org/10.63356/stes.nat.2026.003 УДК 628.472.2:632.51(497.11)

PROSTORNA DISTRIBUCIJA DIVLJIH DEPONIJA NA TERITORIJI JABLANIČKOG UPRAVNOG OKRUGA

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: Nelegalno odlaganje otpada predstavlja jedan od značajnih ekoloških problema savremenog društva, koji je posledica neadekvatnog upravljanja otpadom i nedovoljne razvijenosti sistema njegovog prikupljanja i odlaganja. Divlje deponije mogu izazvati degradaciju životne sredine, zagađenje zemljišta i voda, kao i negativne posledice po zdravlje stanovništva i lokalne ekosisteme.

Cilj: Cilj istraživanja je bila analiza prostorne distribucije divljih deponija na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga, kao i uočavanje obrazaca njihovog javljanja i prostornog grupisanja.

Materijal i metode: Podaci o lokacijama registrovanih divljih deponija preuzeti su sa sajta Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije. Sve divlje deponije su registrovane 2023. godine. Prostorna analiza sprovedena je u softveru QGIS i izdvojene bafer zone od 10 m, 20 m, 50 m i 100 m oko rečnih tokova, saobraćajnica i naselja.

Rezultati: Najveći broj registrovanih divljih deponija na teritoriji Jablaničkog okruga koncentrisan je u dolinskim i ravničarskim oblastima uz Južnu Moravu i njene pritoke. Najveći broj divljih deponija u bafer zonama oko rečnih tokova registrovan je u slivu Jablanice i Puste reke. U bafer zoni od 100 m oko saobraćajnica registrovane su 93 divlje deponije, dok je u zoni od 100 m oko urbanih i ruralnih naselja registrovano osam divljih deponija. Prostornom analizom izdvojeno je 10 vrućih tačaka, od kojih je najintenzivnija locirana u dolini Južne Morave, istočno od Leskovca.

Zaključak: Izdvojene vruće tačke pojave divljih deponija predstavljaju prioritetne zone za budući monitoring, sanaciju i sprovođenje preventivnih mera u cilju smanjenja uticaja nelegalnog odlaganja otpada. Posebnu pažnju je potrebno usmeriti na poljoprivredno zemljište, na kojem je registrovan veliki broj divljih deponija.

Ključne reči: divlje deponije; Jablanički okrug; prostorna analiza; bafer zone; vruće tačke

UVOD

Početkom 21. veka, na globalnom nivou, zabeležen je kontinuirani porast količine generisanog otpada, čime je upravljanje otpadom postalo jedan od značajnijih ekoloških i društvenih izazova. Prema projekcijama, globalna količina generisanog otpada do 2050. godine mogla bi da se uveća dvostruko brže od svetske populacije. U takvim okolnostima, nelegalno odlaganje otpada postaje sve izraženiji problem u sistemu upravljanja otpa-

dom, što se između ostalog dovodi u vezu sa rastućim troškovima njegovog adekvatnog sakupljanja, transporta i tretmana [1, 2].

Nepravilno odlaganje otpada može dovesti do zagađenja životne sredine usled oslobađanja različitih materija i jedinjenja koja se mogu akumulirati u zemljištu, vodi, biljkama, životinjama i čoveku [3]. Negativni uticaji divljih deponija mogu se manifestovati i kroz degradaciju zemljišnog pokrivača, narušavanje prirodne ravnoteže, smanjenje atraktivnosti prostora, što u pojedinim oblastima može doprineti smanjenju vrednosti zemljišta i nekretnina [4, 5].

Dugotrajna izloženost stanovništva, životne sredine i ekosistema uticajima divljih deponija može imati značajne negativne posledice po lokalnu ekonomiju, kvalitet životne sredine i zdravlje stanovništva [6, 7]. Istraživanja ukazuju na to da stanovništvo koje živi u blizini divljih deponija može biti izloženo povećanom riziku od nastanka malignih oboljenja [7]. Pored neposrednih ekoloških i društvenih posledica, identifikacija lokacija divljih deponija, procena njihovog uticaja i sprovođenje mera sanacije često zahtevaju značajna finansijska sredstva, naročito u slučajevima kada je potrebno obnoviti degradirano zemljište i smanjiti rizike po zdravlje ljudi, biljaka i životinja [8, 9].

Neadekvatno upravljanje otpadom u velikoj meri doprinosi povećanju broja divljih deponija, pre svega u ruralnim sredinama u kojima usluge sakupljanja otpada nisu dostupne [10, 11]. Jedan od najčešćih uzroka njihovog nastanka jeste neadekvatna infrastruktura za upravljanje otpadom, uključujući loše održavane objekte i sisteme za sakupljanje i transport otpada [12, 13, 14]. Na pojavu i rasprostranjenost divljih deponija utiču različiti faktori kao što su nivo obrazovanja, ekološka svest, troškovi odlaganja otpada i prihodi stanovništva [15]. Troškovi odlaganja otpada posebno su značajni za stanovništvo sa nižim prihodima, koje usled ograničenih finansijskih mogućnosti može češće pribegavati nelegalnom odlaganju otpada. Na taj način može doći do povećanja broja divljih deponija i njihovog širenja, umesto korišćenja usluga odvoženja otpada koje podrazumevaju određene finansijske troškove [14, 16].

Ukupna količina proizvedenog otpada u Republici Srbiji poslednjih godina se povećava. Ukupna količina proizvedenog otpada u 2024. godini je iznosila 11,2 miliona tona, odnosno 1,7 t/st/god. Javna komunalna preduzeća organizovano odlažu otpad na 127 nesanitarnih deponija [17]. Veliki broj opština i gradova u Republici Srbiji ima sopstvenu deponiju ili smetlište. To su deponije za koje je u skladu sa Strategijom o upravljanju otpadom predviđeno saniranje i zatvaranje, jer je njihov kapacitet u većini opština popunjen i većina ne zadovoljava minimum tehničkih standarda [17].

Nesanitarne deponije i smetlišta predstavljaju značajan rizik po životnu sredinu i zdravlje ljudi. Na njima često dolazi do samozapaljenja i emisije zagađujućih materija. Posebno su ugrožena područja u neposrednoj blizini naselja i vodotokova, pri čemu se kao rizične izdvajaju deponije udaljene manje od 100 m od naselja, odnosno manje od 50 m od reka, potoka i jezera. Neadekvatno deponovanje otpada može dovesti do zagađenja vazduha, zemljišta i podzemnih voda. Padavine koje se filtriraju kroz masu deponovanog otpada rastvaraju štetne materije, čime se povećava rizik od zagađenja zemljišta i podzemnih voda [17, 18, 19].

U savremenim istraživanjima sve češće se analiziraju različiti prostorni i antropogeni faktori koji mogu ukazivati na potencijalnu pojavu i prostorni raspored divljih deponija, kao što su gustina naseljenosti, intenzitet antropogenih aktivnosti i razvijenost putne infrastrukture [20, 21, 22]. Pored navedenih faktora, primenom metoda daljinske detekcije sve veći značaj dobijaju i indirektni faktori ekoloških anomalija, poput promena u vegetacijskom pokrivaču i temperature površine zem-

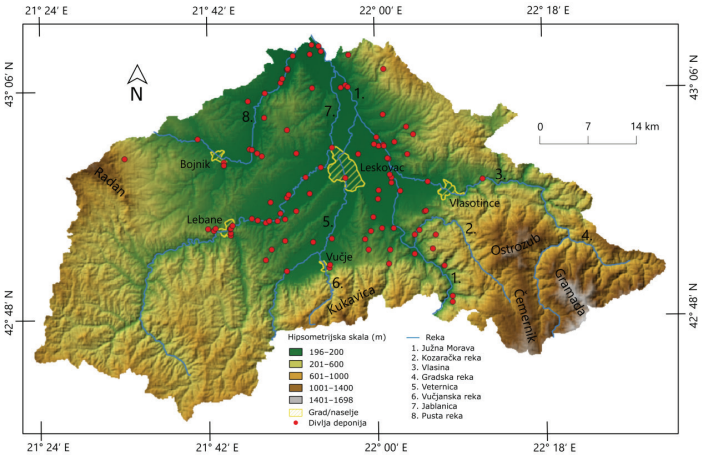
ljišta (LST), koji mogu doprineti identifikaciji potencijalnih lokacija nelegalnog odlaganja otpada [21].

Daljinska detekcija i geografski informacioni sistemi (GIS) imaju široku primenu u proceni i praćenju ekoloških anomalija, posebno u različitim aspektima upravljanja čvrstim otpadom [17, 23, 24]. Primena GIS tehnologija omogućava analizu različitih aspekata nastanka i prostornog širenja divljih deponija, kao i određivanje optimalnih lokacija za izgradnju objekata za upravljanje otpadom i sanitarnih deponija [25, 26]. Značajna prednost primene GIS-a ogleda se u mogućnosti uštede vremena i finansijskih sredstava prilikom praćenja ugroženih oblasti, formiranja digitalnih baza podataka za monitoring divljih deponija, kao i pružanja podrške lokalnim samoupravama u procesu donošenja odluka. GIS omogućava jednostavniji izbor lokacija pogodnih za odlaganje otpada, praćenje stanja deponija, procenu uticaja na životnu sredinu, monitoring kretanja komunalnih vozila i analizu prostornog rasporeda divljih deponija [27].

Predmet ovog istraživanja su divlje deponije locirane na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga. Cilj istraživanja je analiza njihove prostorne distribucije, utvrđivanje obrazaca prostornog grupisanja i ispitivanje njihove prostorne povezanosti sa naseljima, vodotokovima i saobraćajnom infrastrukturom. Posebna pažnja usmerena je na brojnost divljih deponija na različitim udaljenostima od navedenih prostornih elemenata, kao i na izdvajanje oblasti sa izraženom koncentracijom divljih deponija, odnosno vrućih tačaka. Naučni i praktični doprinos istraživanja ogleda se u identifikaciji prostornih celina koje zahtevaju poseban nadzor i predstavljaju prioritetna područja za budući monitoring, sanaciju postojećih divljih deponija i sprovođenje preventivnih mera. Dobijeni rezultati mogu poslužiti kao prostorna osnova za podršku nadležnim institucijama u planiranju aktivnosti usmerenih na smanjenje problema nelegalnog odlaganja otpada na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga.

MATERIJAL I METODE

Istraživanje obuhvata teritoriju Jablaničkog upravnog okruga koji administrativno pripada regionu Južne Srbije. Okrugu pripada teritorija grada Leskovca i opštine Medveđa, Bojnik, Lebane, Vlasotince i Crna Trava [28]. Ukupna površina okruga iznosi 2770,03 km^2. Administrativni centar Jablaničkog okruga je grad Leskovac, čija administrativna teritorija zauzima najveću površinu okruga. Teritorija grada Leskovca obuhvata Leskovačku kotlinu i doline Južne Morave i Veternice. Istočne padine planine Radan i dolinu srednjeg i donjeg toka Puste reke obuhvata opština Bojnik. Zapadne oblasti okruga i gornji tok reke Jablanice obuhvata opština Medveđa. Srednji tok reke Jablanice i oblasti na jugo-zapadu okruga pripadaju opštini Lebane. Opština Vlasotince obuhvata oblasti u dolini reke Vlasine, istočno od Južne Morave. Najistočnije oblasti u okrugu u gornjem toku reke Vlasine i padine Oštrozuba i Gramade pripadaju opštini Crna Trava [29] (Slika br. 1).



Slika br. 1. Položaj Jablaničkog upravnog okruga

U istraživanju su korišćeni podaci o lokacijama divljih deponija preuzeti sa sajta Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije [30]. Lokacije divljih deponija za istraživanu teritoriju su izdvojene u posebnom dokumentu (lejeru) kako bi se omogućila prostorna analiza u GIS softveru. Sve divlje deponije registrovane su 2023. godine.

Prostorna analiza divljih deponija izvršena je korišćenjem GIS-a u softveru QGIS Desktop 3.34.13. GIS predstavlja značajan alat za integraciju i analizu prostornih podataka, omogućavajući sveobuhvatnije sagledavanje prostornih pojava i procesa. Njihova primena doprinosi kvalitetnijem razumevanju prostornih obrazaca i efikasnijem donošenju odluka u različitim oblastima, uključujući saobraćaj, prostorno planiranje, šumarstvo, poljoprivredu, javnu upravu i zaštitu životne sredine [31]. Funkcionisanje GIS tehnologije zasniva se na obradi i analizi georeferenciranih podataka, čime se omogućava proučavanje prostornog rasporeda, međusobnih veza i svojstava geografskih objekata u kontekstu njihovog okruženja [32].

U QGIS softveru određene su zone (bafer zone) oko rečnih tokova, naselja i saobraćajnica. U analizi naselja izdvojen je grad Leskovac kao posebna urbana oblast, kao i sva urbana i ruralna naselja na teritoriji okruga. Od saobraćajnica su izdvojeni državni putevi I i II reda, opštinski putevi, ulice i nekategorisani putevi, kao i planinske staze. Za potrebe analize definisane su četiri bafer zone od 10 m, 20 m, 50 m i 100 m. Izbor različitih prostornih zona zasnovan je na potrebi da se ispita brojnost divljih deponija u neposrednom i širem okruženju analiziranih prostornih elemenata. Ovakav pristup je u skladu sa metodološkim postupkom primenjenim u istraživanju Krsmanovića i dr. [33], u kojem su analizirane kategorije udaljenosti divljih deponija od puteva, naselja i vodotokova, odnosno zone do 50 m i od 50,1 m do 100 m. U ovom istraživanju dodatno su izdvojeni uži pojasevi od 10 m i 20 m, kako bi se detaljnije sagledala prostorna povezanost divljih deponija sa neposrednim okruženjem. Definisane bafer zone predstavljaju analitičke parametre istraživanja, a ne zakonom propisane udaljenosti. Kao rezultat analize izrađene su tematske karte koje prikazuju lokacije divljih deponija i onih koje pripadaju određenim bafer zonama.

Vegetacijske karakteristike Jablaničkog upravnog okruga određene su na osnovu CORINE Land Cover baze podataka Evropske agencije za životnu sredinu (EEA – European Environmental Agency), pri čemu je minimalna jedinica kartiranja 25 ha [34]. U odabiru podataka bilo je neophodno preuzeti što uverljivije i preciznije podatke kako bi vegetacijske karakteristike teritorije istraživanja imale približno slične vrednosti u odnosu na 2023. godinu kada su registrovane divlje deponije. Zbog toga su najoptimalniji podaci

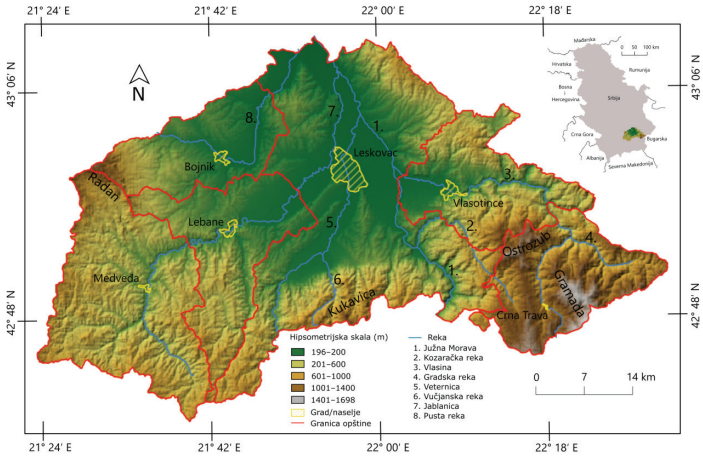
bili iz 2018. godine, jer podaci za 2024. godinu još uvek nisu javno dostupni. Izdvojeni podaci su analizirani u QGIS softveru zajedno sa lokacijama divljih deponija na teritoriji okruga. Kao rezultat analize izrađena je karta koja prikazuje raspodelu tipova zemljišnog pokrivača i prostorni raspored divljih deponija.

Izdvajanje vrućih tačaka, odnosno oblasti sa povećanom učestalošću nastanka divljih deponija izvršeno je u softveru QGIS korišćenjem alata Raster Density – Styled heatmap. Analizom su dobijene oblasti sa različitim intenzitetom pojave divljih deponija, odnosno gustinom registrovanih divljih deponija na jediničnoj površini od 4 km2. Teritorija okruga je prema tome bila podeljena na veliki broj posebnih površina sa različitim intenzitetom pojave. Oblasti koje nisu imale registrovanih divljih deponija na jediničnoj površini imale su vrednosti 0. U cilju bolje interpretacije izdvojenih vrućih tačaka izrađena je tematska karta.

REZULTATI I DISKUSIJA

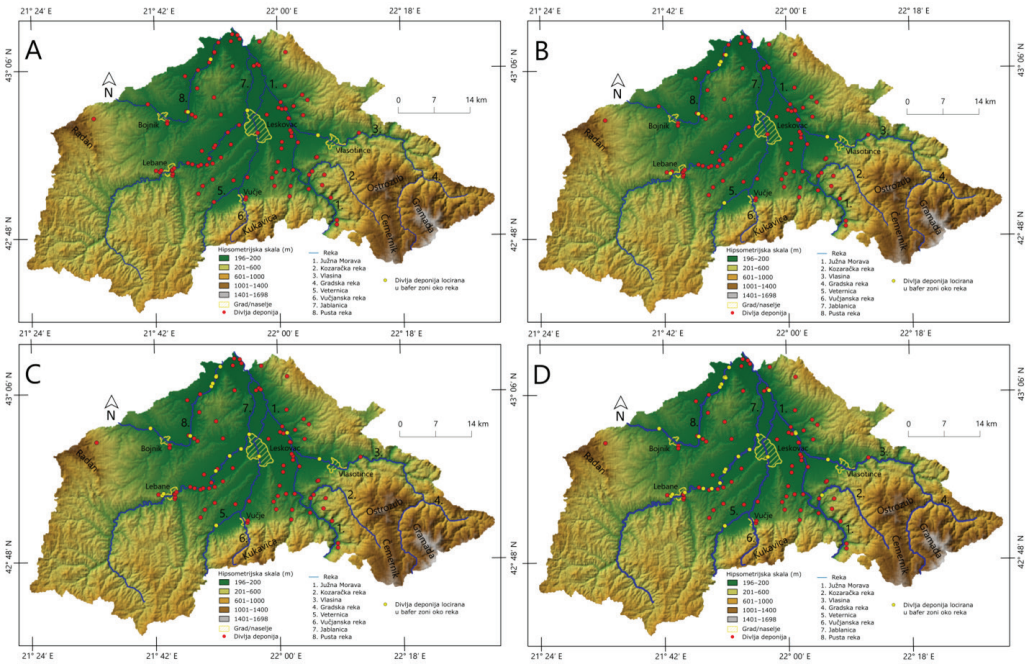
Na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga u 2023. godini je bilo registrovano ukupno 100 divljih deponija koje su prikazane na Slici br. 2. Veliki broj divljih deponija je lociran u Leskovačkoj kotlini, u oblasti oko Leskovca i na teritoriji grada Leskovca, kao i u dolinama reka. U oblastima na istoku i jugoistoku, kao i na zapadu i jugozapadu nije bilo registrovanih divljih deponija. Upravo te oblasti se odlikuju višim reljefom i složenijim morfološkim oblicima što je za posledicu imalo nižu gustinu naseljenosti i manju verovatnoću nastanka divljih deponija. Postoji verovatnoća da istraživanje i lociranje divljih deponija nije detaljno sprovedeno u najudaljenijim oblastima okruga i da se upravo zbog toga broj divljih deponija od administrativnog centra okruga smanjuje.

Analizom lokacija divljih deponija izdvojeno je nekoliko oblasti koje se odlikuju velikim brojem divljih deponija. Prva velika oblast je izdvojena u dolini Južne Morave, na celom toku kroz Jablanički upravni okrug. Značajan broj divljih deponija je registrovan u donjem toku Kozaračke reke, kao i u oblasti istočno od Leskovca. Druga oblast po broju divljih deponija je dolina Jablanice. Najveći broj divljih deponija lociran je u srednjem toku Jablanice, u okolini Lebana i nizvodnije. U donjem toku Jablanice locirane su tri divlje deponije, ali značajno manje u odnosu na srednji tok. Treća oblast po brojnosti divljih deponija je dolina Puste reke, odnosno donji i srednji tok. U dolini Veternice i Vučjanske reke je registrovano devet divljih deponija. U dolini Vlasine su registrovane dve divlje deponije, dok je na istočnim padinama Radana registrovana jedna divlja deponija (Slika br. 2).



Slika br. 2. Prostorna distribucija divljih deponija na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga

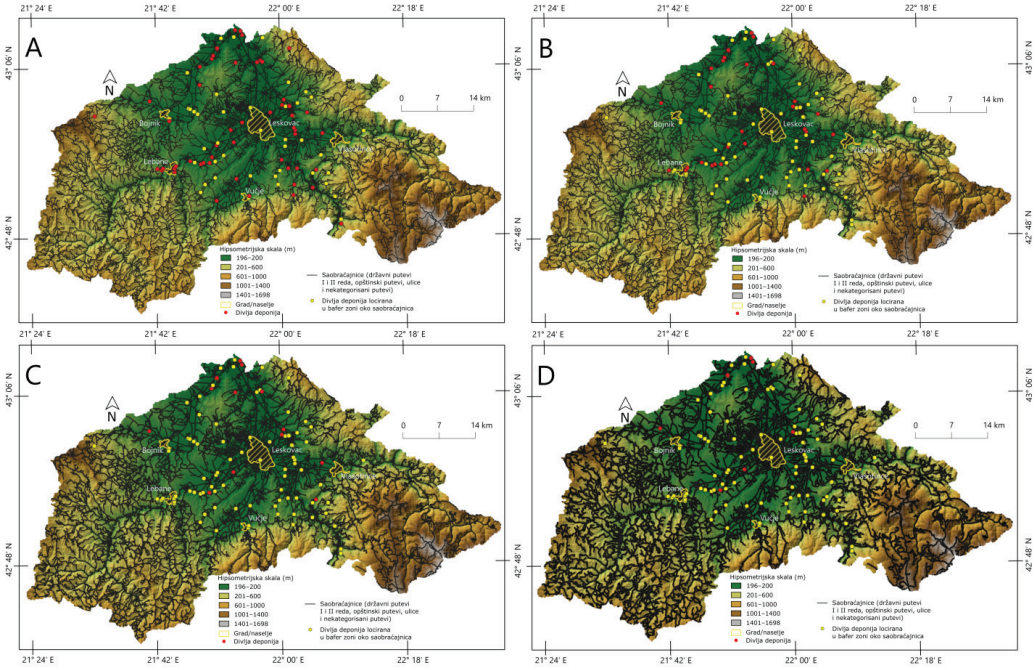
Prostorna analiza u odnosu na udaljenost od vodotokova izvršena je kroz izdvajanje četiri koncentrične zone od 0–10 m, 10–20 m, 20–50 m i 50–100 m od rečnih tokova. Za svaku zonu analizirani su broj registrovanih divljih deponija i njihova gustina u odnosu na površinu zone. U zoni od 10 m registrovane su četiri divlje deponije. U dolini Puste reke registrovane su dve divlje deponije, po jedna u donjem i srednjem toku reke. U donjem toku Jablanice registrovana je jedna divlja deponija, kao i jedna u donjem toku Vlasine. U zoni od 10–20 m registrovane su četiri divlje deponije. U dolini puste reke registrovane su dve divlje deponije, kao i po jedna u srednjem toku Jablanice i gornjem toku Veternice. U zoni od 20–50 m je registrovano devet divljih deponija u dolini Južne Morave, Puste reke, veternice i Jablanice. U zoni od 50–100 m registrovano je 11 divljih deponija. Prema gustini, najveći broj divljih deponija registrovan je u zoni od 50–100 m, što ukazuje na izraženiju koncentraciju divljih deponija u ovoj zoni u odnosu na ostale analizirane udaljenosti od vodotokova (Slika br. 3). Sličan pristup analizi primenili su Krsmanović i dr. [33], koji su udaljenost od vodotokova izdvojili kao jedan od značajnih faktora u prostornoj analizi divljih deponija, naglašavajući da njihova distribucija zavisi od međusobnog dejstva više prostornih faktora, pre svega blizine naselja, putne mreže i načina korišćenja zemljišta, a ne isključivo od blizine rečnih tokova.



Slika br. 3. Udaljenost divljih deponija od rečnih tokova (bafer zone). (A) Udaljenost od 10 m; (B) Udaljenost od 20 m; (C) Udaljenost od 50 m; (D) Udaljenost od 100 m.

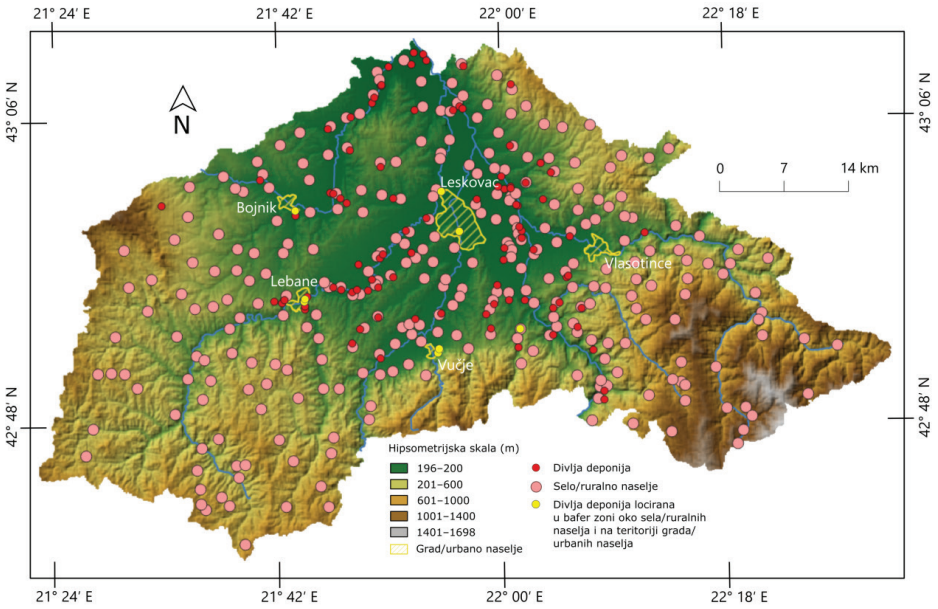
U zoni od 10 m oko saobraćajnica, odnosno državnih puteva I i II reda, opštinskih puteva, ulica, nekategorisanih puteva i planinskih staza, registrovane su 44 divlje deponije. Veliki broj divljih deponija registrovan je u dolini Južne Morave, odnosno oblastima istočno i jugoistočno od Leskovca. U oblastima između Leskovca kao administrativnog centra okruga i Bojnika, Lebana i Vučja registrovano je 17 divljih deponija. Na udaljenosti od 10–20 m od saobraćajnica registrovane su 23 divlje deponije. Broj divljih deponija koje su registrovane u novoj zoni je značajno veći u oblastima oko Leskovca. U zoni od

20–50 m od saobraćajnica je registrovano 20 divljih deponija. U zoni od 50–100 m od saobraćajnica registrovano je ukupno šest divljih deponija (Slika br. 4). Gusta mreža saobraćajnica u velikoj meri utiče na pojavu divljih deponija. U većini slučajeva presudan značaj za nastanak divljih deponija ima ljudski faktor. Dobijeni rezultati poklapaju se sa rezultatima istraživanja Du i dr. [35], koji ukazuju da je prostorna distribucija divljih deponija usko povezana sa blizinom putne mreže, pri čemu se one najčešće javljaju u blizini pristupačnih saobraćajnica. Slično tome, rezultati ovog istraživanja pokazuju da su divlje deponije često locirane u neposrednoj blizini nekategorisanih puteva i šumskih staza, što ukazuje da laka pristupačnost ovih lokacija, uz nedovoljnu primenu mera zaštite životne sredine i ograničenu ekološku svest dela stanovništva, kao i udaljenost kontejnera i kanti za odlaganje otpada, predstavlja jedan od faktora koji pogoduje nelegalnom odlaganju otpada.



Slika br. 4. Udaljenost divljih deponija od saobraćajnica (bafer zone). (A) Udaljenost od 10 m; (B) Udaljenost od 20 m; (C) Udaljenost od 50 m; (D) Udaljenost od 100 m.

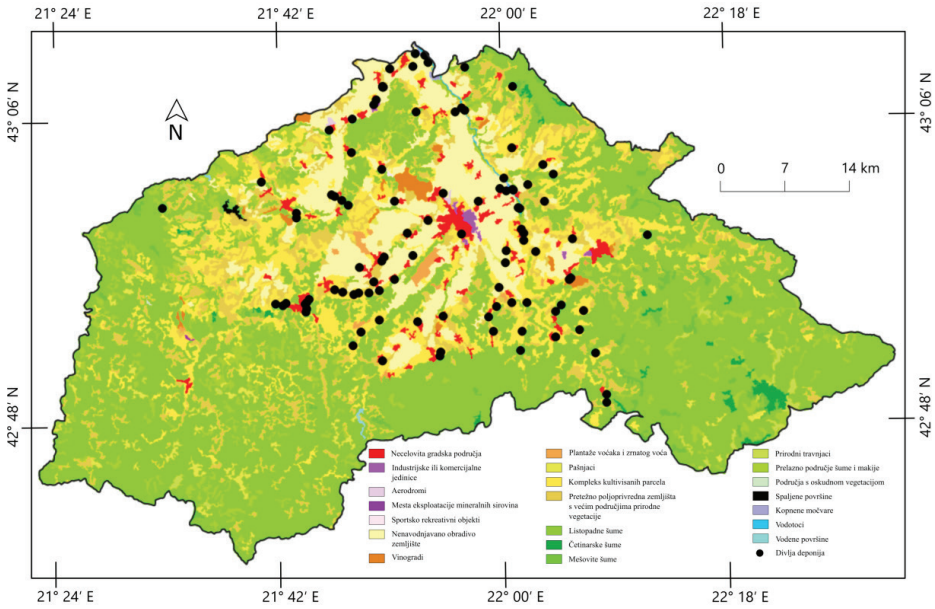
Na teritoriji grada Leskovca i urbanih sredina bilo je registrovano sedam divljih deponija. Na teritoriji grada Leskovca, koji teritorijalno zahvata najveću površinu registrovane su dve divlje deponije. Na urbanoj teritoriji Lebana registrovane su dve divlje deponije, kao i dve na urbanoj teritoriji Vučja. Na urbanoj teritoriji Bojnika registrovana je jedna divlja deponija dok na urbanoj teritoriji Vlasotinca, Medveđe i Crne Trave nije bilo registrovanih divljih deponija (Slika br. 5).



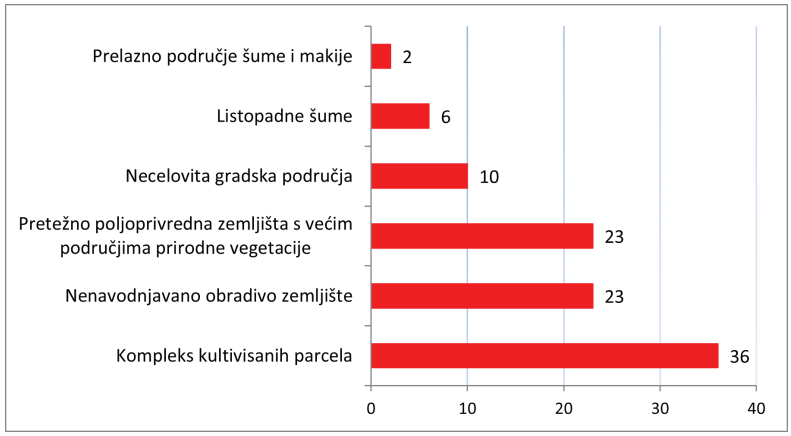
Slika br. 5. Divlje deponije registrovane na teritoriji urbanih naselja i udaljenosti manjoj od 100 m oko ruralnih naselja

Analizom divljih deponija i bafer zona oko ruralnih naselja registrovana je samo jedna divlja deponija u bafer zoni od 100 m od naselja Velika Kopašnica, koja se nalazi na teritoriji grada Leskovca (južno od Leskovca u dolini Južne Morave). U zonama od 10 m, 20 m i 50 m od ruralnih naselja nije bilo registrovanih divljih deponija (Slika br. 5).

Analizom prostornih podataka baze CORINE Land Cover za 2018. godinu u kombinaciji sa prostornim lokacijama divljih deponija identifikovane su površine i tipovi zemljišnog pokrivača na kojima su divlje deponije registrovane (Slika br. 6). Na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga prema prostornim podacima CORINE Land Cover baze podataka registrovan je 21 tip zemljišnog pokrivača, ali samo na šest tipova zemljišnog pokrivača su registrovane divlje deponije. Najveći broj divljih deponija (36) je registrovan na kompleksu kultivisanih parcela, što je potrebno posmatrati u odnosu na njegovu prostornu zastupljenost i distribuciju na teritoriji okruga. Imajući u vidu da pojedini tipovi zemljišnog pokrivača zauzimaju znatno manje površine, odsustvo divljih deponija na njima ne mora ukazivati na njihovu nepogodnost za odlaganje otpada. Stoga se broj evidentiranih deponija na pojedinim tipovima zemljišnog pokrivača ne može direktno tumačiti kao pokazatelj njihove uloge u određivanju lokacija deponija. Sa aspekta zaštite prostora, posebno je značajna činjenica da se značajan broj divljih deponija nalazi na kompleksu kultivisanih površina, čime se povećava potencijalni negativni uticaj neadekvatnog odlaganja otpada na poljoprivrednom zemljištu. Po 23 divlje deponije su registrovane na nenavodnjavanom obradivom zemljištu i pretežno poljoprivrednom zemljištu s većim područjima prirodne vegetacije. Dobijeni rezultati su u skladu sa istraživanjem Karimi i Ng [6], koji navode da su ilegalne deponije najčešće locirane u antropogeno izmenjenim predelima, posebno na poljoprivrednim površinama i u blizini naselja i putne infrastrukture, zbog njihove dobre pristupačnosti i intenzivnog korišćenja prostora. Na teritoriji necelovitih gradskih područja registrovano je 10 divljih deponija. Na teritoriji obrasloj listopadnim šumama registrovano je šest divljih deponija, dok su na prelaznom području šume i makije registrovane dve divlje deponije (Slika br. 6, Grafikon br. 1). Krsmanović i dr. [34] ističu da najveći rizik za nastanka divljih deponija imaju poljoprivredne i urbane površine, za razliku od šumskih koje imaju značajno manji rizik.



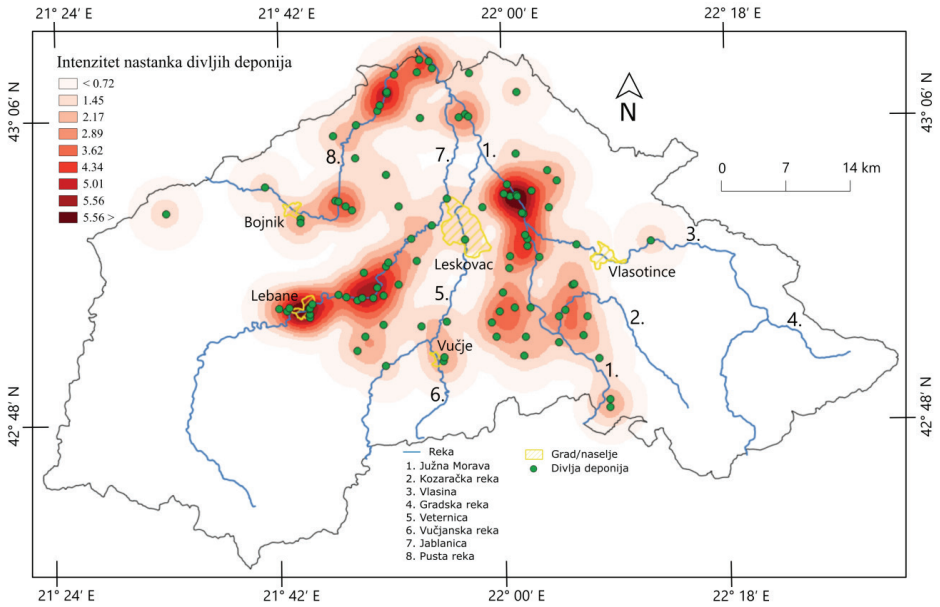
Slika br. 6. Tipovi zemljišnog pokrivača (CORINE Land Cover, 2018) i prostorna distribucija registrovanih divljih deponija na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga



Grafikon br. 1. Broj registrovanih divljih deponija na različitim tipovima zemljišnog pokrivača (prema CORINE Land Cover bazi podataka iz 2018. godine)

Na Slici br. 7 izdvojene su vruće tačke divljih deponija, odnosno oblasti sa povećanom učestalošću nastanka divljih deponija na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga. Analizom je izdvojeno 10 prostornih oblasti u kojima je broj divljih deponija značajno viši u odnosu na druge oblasti u okrugu. Najveća i najintenzivnija vruća tačka obuhvata oblasti istočno i severoistočno od Leskovca, dolinu Južne Morave i ušće Vlasine u Južnu Moravu. Centar vruće tačke, sa više od 5,56 divljih deponija, lociran je na desnoj i levoj obali Južne Morave i sferno se širi ka periferiji. Oblasti južno od centra vruće tačke, odnosno ušće Vlasine u Južnu Moravu ima više od tri locirane divlje deponije. Druga vruća tačka po intenzitetu locirana je u srednjem toku Jablanice, na teritoriji Lebana. Prostorno, ova vruća tačka je

manja u odnosu na treću vruću tačku lociranu nešto nizvodnije u dolini Jablanice. Periferno su druga i treća vruća tačka spojene u jednu veću oblast. Četvrta vruća tačka po intenzitetu je locirana u donjem toku Puste reke. Ona je spojena sa petom vrućom tačkom u dolini Južne Morave, u najnizvodnijem delu toka Južne Morave na teritoriji okruga. Šesta vruća tačka je locirana u srednjem toku Puste reke, nizvodnije od Bojnika. U dolini Kozarske reke je moguće izdvojiti sedmu vruću tačku, koja obuhvata donji tok Kozarske reke i periferno se širi do ušća u Južnu Moravu. Osma vruća tačka je locirana u dolini Južne Morave, južno od Leskovca. U dolini Južne Morave je locirana još jedna vruća tačka severno od Leskovca, i ona obuhvata donji tok Jablanice. Deseta vruća tačka je locirana oko Vučja i obuhvata donji tok Vučjanske reke i njeno ušće u Veternicu (Slika br. 7).



Slika br. 7. Vruće tačke divljih deponija na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga

Veliki broj registrovanih divljih deponija na poljoprivrednom zemljištu može se dovesti u vezu sa dominantnim uticajem antropogenog faktora. Najizraženija žarišta pojave divljih deponija prostorno se poklapaju sa oblastima intenzivne poljoprivredne proizvodnje i povećane ljudske aktivnosti. Primećeno je da su divlje deponije znatno ređe u višim terenima i padinama planina koje su izložene minimalnim antropogenim aktivnostima. U nekim oblastima nema registrovanih divljih deponija kao što je slučaj sa opštinama Medveđa i Crna Trava (Slika br. 1, Slika br. 2). Prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije opština Crna Trava je dostavila dokument koji potvrđuje da na svojoj teritoriji nema registrovanih divljih deponija. U ovim terenima ima stalnih naselja, ali je broj stanovnika mali, zbog čega se može pretpostaviti da se generišu manje količine otpada. Takođe, lociranje divljih deponija u ovim oblastima otežano je zbog složenosti terena [26].

ZAKLJUČAK

Primena GIS tehnologije omogućila je detaljnu prostornu analizu distribucije 100 registrovanih divljih deponija na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga i identifikaciju prostornih faktora koji utiču na njihovu pojavu. Dobijeni rezultati ukazuju na izražene

prostorne obrasce, pri čemu je najveća koncentracija divljih deponija registrovana u Leskovačkoj kotlini, dolini Južne Morave i dolinama njenih pritoka. Utvrđeno je da se najveći broj divljih deponija nalazi u zoni od 50–100 m od rečnih tokova, dok je njihova prostorna distribucija značajno povezana i sa razvijenošću saobraćajne infrastrukture. U zoni od 0–100 m od saobraćajnica registrovane su ukupno 93 divlje deponije, što potvrđuje značaj pristupačnosti prostora kao jednog od ključnih faktora njihovog nastanka.

Rezultati dobijeni primenom CORINE Land Cover baze podataka ukazuju da su divlje deponije najčešće prisutne na antropogeno izmenjenim površinama, pre svega na kompleksima kultivisanih parcela, obradivom zemljištu i poljoprivrednim površinama sa većim područjima prirodne vegetacije. Njihova manja zastupljenost u šumskim područjima potvrđuje dominantan uticaj ljudskih aktivnosti i načina korišćenja prostora na formiranje prostornih obrazaca. Dobijeni podaci o prostornom rasporedu deponija pružaju značajnu osnovu za sagledavanje postojećeg stanja i identifikaciju područja koja su izložena njihovom potencijalnom negativnom uticaju. Međutim, mogućnosti detaljnog praćenja ove pojave ograničene su nedostatkom sistematskih i vremenski uporedivih podataka o površini i zapremini deponija, njihovom širenju, nastanku novih i saniranju postojećih lokacija. Uspostavljanje kontinuiranog monitoringa, koji bi pored lokacije obuhvatio i osnovne karakteristike deponija i njihove promene kroz vreme, omogućilo bi preciznije praćenje dinamike ovih pojava i efikasnije planiranje mera za njihovo saniranje.

Izdvajanjem vrućih tačaka identifikovano je 10 oblasti sa povećanom učestalošću pojave divljih deponija. Najizraženija žarišta formirana su u dolini Južne Morave, srednjem i donjem toku Jablanice, kao i u dolinama Puste reke, Veternice i Kozarske reke. Ove oblasti predstavljaju prioritetne zone za budući monitoring, sanaciju i sprovođenje preventivnih mera u cilju smanjenja negativnih uticaja nelegalnog odlaganja otpada. Po pretpostavci, u zonama vrućih tačaka bi u budućnosti trebalo očekivati pojavu novih divljih deponija i širenje starih.

Poseban doprinos istraživanja ogleda se u uporednoj analizi prostornog rasporeda divljih deponija u odnosu na različite kategorije prostornih elemenata na više definisanih udaljenosti, čime se omogućava identifikacija područja u kojima je izražena njihova prostorna povezanost sa vodotocima, naseljima i saobraćajnom infrastrukturom. Dobijeni rezultati potvrđuju da prostorni raspored divljih deponija na teritoriji Jablaničkog upravnog okruga nije slučajan, već predstavlja posledicu međusobnog delovanja prirodnih i antropogenih faktora. Primenjena GIS metodologija predstavlja značajan osnov za unapređenje sistema upravljanja komunalnim otpadom i planiranje aktivnosti zaštite životne sredine na lokalnom i regionalnom nivou. Buduća istraživanja trebalo bi usmeriti ka analizi socio-ekonomskih faktora, promenama korišćenja zemljišta i proceni ekoloških posledica nelegalnog odlaganja otpada.

LITERATURA

[1] Sun, X., Yin, D., Qin, F., Yu, H., Lu, W., Yao, F., et al. Revealing influencing factors on global waste distribution via deep-learning based dumpsite detection from satellite imagery, Nature Communications, 2023, 14(1), 1444, https://doi.org/10.1038/s41467-023-37136-1

[2] Du, L., Zuo, J., Vanzo, J., Chang, R., & Zillante, G. Assessing and predicting the illegal dumping risks in relation to road characteristics, Waste Management, 2023, 169, 332–341, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.07.031

[3] Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping, Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(39), 58514–58536, https://doi.org/10.1007/s11356-022-21578-z

[4] Limoli, A., Garzia, E., De Pretto, A., & De Muri, C. Illegal landfill in Italy (EU) — A multidisciplinary approach, Environmental Forensics, 2019, 20, 26–38, https://doi.org/10.1080/15275922.2019.1566291

[5] Karimi, N., & Ng, K. T. W. Mapping and Prioritizing Potential Illegal Dump Sites Using Geographic

Information System Network Analysis and Multiple Remote Sensing Indices, *Earth*, 2022, *3*(4), 1123–1137, https://doi.org/10.3390/earth3040065
[6] Mazza, A., Piscitelli, P., Neglia, C., Rosa, G. D., & Iannuzzi, L. Illegal dumping of toxic waste and its effect on human health in Campania, Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, 12(6), 6818–6831, https://doi.org/10.3390/ijerph120606818
[7] Vaverková, M. D., Maxianová, A., Winkler, J., Adamcová, D., & Podlasek, A. Environmental consequences and the role of illegal waste dumps and their impact on land degradation. Land Use Policy, 2019, 89, 104234, https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104234
[8] Seror, N., & Portnov, B. A. Identifying areas under potential risk of illegal construction and demolition waste dumping using GIS tools. Waste Management, 2018, 75, 22–29, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.027
[9] Otwong, A., Jongmeewasin, S., & Phenrat, T. Legal obstacles for the circular economy in Thailand: Illegal dumping of recyclable hazardous industrial waste. Journal of Cleaner Production, 2021, 302, 126969, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126969
[10] Nanda, S., & Berruti, F. Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review, Environmental Chemistry Letters, 2021, 19(2), 1433–1456. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y
[11] Seng, B., Fujiwara, T., & Spoann, V. Households' knowledge, attitudes, and practices toward solid waste management in suburbs of Phnom Penh, Cambodia. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 2018, 36(10), 993–1000, https://doi.org/10.1177/0734242X18790800
[12] Ramadan, B. S., Rachman, I., Ikhlas, N., Kurniawan, S. B., Miftahadi, M. F., & Matsumoto, T. A comprehensive review of domestic-open waste burning: recent trends, methodology comparison, and factors assessment. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2022, 24(5), 1633–1647, https://doi.org/10.1007/s10163-022-01430-9
[13] Agovino, M., & Musella, G. Separate waste collection in mountain municipalities. A case study in Campania. Land use Policy, 2020, 91, 104408, https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104408
[14] Nagpure, A. S. Assessment of quantity and composition of illegal dumped municipal solid waste (MSW) in Delhi, Resources, Conservation and Recycling, 2019, 141, 54–60, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.012
[15] Šedová, B. On causes of illegal waste dumping in Slovakia, Journal of Environmental Planning and Management, 2016, 59(7), 1277–1303, https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1072505
[16] Syafrudin, S., Ramadan, B. S., Budihardjo, M. A., Munawir, M., Khair, H., Rosmalina, R. T., et al. Analysis of Factors Influencing Illegal Waste Dumping Generation Using GIS Spatial Regression Methods, Sustainability, 2023, 15(3), 1926, https://doi.org/10.3390/su15031926
[17] Karimi, N., Richter, A., Ng, K. T. W. Siting and ranking municipal landfill sites in regional scale using nighttime satellite imagery, Journal of Environmental Management, 2020, 256, 109942, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109942
[18] Министарство заштите животне средине (2025): Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011–2024. године. Агенција за заштиту животне средине. Београд.
[19] Jakiel, M., Bernatek-Jakiel, A., Gajda, A., Filiks, M., & Pufelska, M. Spatial and temporal distribution of illegal dumping sites in the nature protected area: The Ojców National Park, Poland, Journal of Environmental Planning Management, 2019, 62, 286–305, https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1412941
[20] Quesada-Ruiz, L. C., Rodriguez-Galiano, V., & Jordá-Borrell, R. Characterization and mapping of illegal landfill potential occurrence in the Canary Islands, Waste Management, 2019, 85, 506–518, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.015
[21] Abu Qdais, H., & Shatnawi, N. Assessing and predicting landfill surface temperature using remote sensing and an artificial neural network, International Journal of Remote Sensing, 2019, 40, 9556–9571, https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1633703
[22] Mahmood, K., Batool, S. A., & Chaudhary, M. N. Ul-Haq, Z. Ranking criteria for assessment of municipal solid waste dumping sites, Archives of Environmental Protection, 2017, 43, 95–105, 10.1515/aep-2017-0009
[23] Richter, A., Ng, K. T. W., Karimi, N., Chang, W. Developing a novel proximity analysis approach for assessment of waste management cost efficiency in low population density regions, Sustainable Cities and Society, 2021, 65, 102583, https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102583
[24] Ghosh, A., & Richter, A., Ng, K. T. W. Applications of Geographic Information Systems to site waste facilities in Saskatchewan—Phase 1. In Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual

Conference 2021, Lecture Notes in Civil Engineering, Ottawa, Canada, 2021, 249, 173–182, https://doi.org/10.1007/978-981-19-1061-6_18
[25] Akbari, V., Rajabi, M. A., Chavoshi S. H., Shams, R. Landfill site selection by combining GIS and fuzzy multi criteria decision analysis, case study: Bandar Abbas, Iran, World Applied Sciences Journal, 2008, 3(1), 39–47.
[26] Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V. Multi-sriteria GIS-based of an incineration plant for municipal solid waste, Waste Management, 2011, 31(9-10), 1960–1972, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.04.013
[27] Shahabi, H., Allahvirdiasl, H., Ali Zadeh, M. Application of GIS Models in Site selection of waste disposal in Urban Area. IOSR Journal of Applied Physics, 2012, 1 (6), 1–7, 10.9790/4861-0160107
[28] Павловић, М. (2019a): Географске регије Србије 2, Планинско-котлинско долинска макрорегија. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет.
[29] Павловић, М. (2019b): Географија Србије 1. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет
[30] Divlje deponije u Srbiji, Agencija za zaštitu životne sredine. Delimično dostupno na: http://77.46.150.221/kdd/ (Pristupljeno 21. jula 2026. godine).
[31] 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, 10.1088/1757-899X/735/1/012066.
[32] 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, https://doi.org/10.3390/ijgi9010037
[33] Krsmanović, M., Šušnjar, S., Golijan, J., Valjarevic, A. GIS based vulnerability assessment of illegal waste disposal – Case study East Sarajevo, Archives for Technical Sciences, 2022, 27(1), 63–76, https://doi.org/10.7251/afts.2022.1427.063K
[34] CORINE Land Cover (2018). Delimično dostupno na: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018 (Pristupljeno 03. avgusta 2026. godine).
[35] Du, L., Zuo, J., Vanzo, J., Chang, R., & Zillante, G. Assessing and predicting the illegal dumping risks in relation to road characteristics, Waste Management, 2023, 169, 332–341, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.07.031

SPATIAL DISTRIBUTION OF WILD LANDFILLS IN THE TERRITORY OF THE JABLANICA ADMINISTRATIVE DISTRICT

Author: MILAN MILETIĆ, Jovana Vuletić
E-mail: milanmiletic181@gmail.com
Mentor: Assoc. Prof. Mrđan Đokić
Department of Geography and Tourism,
Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš

Introduction: Illegal waste disposal is one of the major environmental problems of modern society, resulting from inadequate waste management and insufficient development of waste collection and disposal systems. Wild landfills can lead to environmental degradation, soil and water pollution, and adverse effects on public health and local ecosystems.

The Aim: The aim of the research was to analyze the spatial distribution of wild landfills in the territory of the Jablanica Administrative District, as well as to identify patterns of their occurrence and spatial clustering.

Material and Methods: Data on the locations of registered wild landfills were obtained from the website of the Agency for Environmental Protection of the Republic of Serbia. All illegal landfills were recorded in 2023. Spatial analysis was carried out in QGIS software, using buffer zones of 10 m, 20 m, 50 m, and 100 m around river courses, roads, and settlements.

Results: The largest number of registered wild landfills on the territory of the Jablanica Administrative District is concentrated in the valley and plain areas along the South Morava and its tributaries. The highest number of wild landfills in buffer zones along river courses was recorded in the Jablanica and Pusta Reka basins. Within the 100 m buffer zone along traffic infrastructure, 93 illegal landfills were registered, while 8 illegal landfills were recorded within the 100 m buffer zone around urban and rural settlements. Spatial analysis identified 10 hotspots, the most intense of which is located in the South Morava valley, east of Leskovac.

Conclusion: The selected hotspots represent priority zones for future monitoring, remediation, and implementation of preventive measures aimed at reducing the impact of illegal waste disposal. Special attention should be focused on agricultural land, where a large number of illegal landfills have been registered.

Keywords: wild landfills; Jablanica District; spatial analysis; buffer zone; hotspots

https://doi.org/10.63356/stes.nat.2026.004 УДК 597.522.53:556.53(4-672EU)

UPOTREBA GENBANK BAZE PODATAKA U KONZERVACIONOJ GENETICI: PREGLED DOSTUPNIH SEKVENCI I NJIHOVA PRIMJENA NA PRIMJERU VRSTE LYNX LYNX

Autor: NINA KUTIĆ
e-mail: nina.kutic@student.pmf.unibl.org
Mentor: prof. dr Dragana Šnjegota
Departman za biologiju
Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Uvod: Globalni biodiverzitet suočava se sa sve izraženijim pritiscima, koji dovode do smanjenja brojnosti i rasprostranjenosti brojnih vrsta. U tom kontekstu, genetička raznolikost predstavlja važnu komponentu biodiverziteta, jer doprinosi adaptivnom potencijalu i dugoročnoj održivosti populacija. Evroazijski ris (Lynx lynx), najveća vrsta mačaka u Evropi, tokom prošlog vijeka pretrpio je značajno smanjenje brojnosti i rasprostranjenosti populacija. Posebno je osjetljiva dinarska populacija, čiju redukovanu genetičku raznolikost karakterišu posljedice efekta osnivača i inbridinga.

Cilj: Cilj rada bio je da se sistematskom pretragom baze GenBank (NCBI) izvrši pregled dostupnih nukleotidnih sekvenci vrste Lynx lynx, utvrdi geografska zastupljenost sekvenci prema državi u kojoj su dobijene, te procijeni obim i struktura javno dostupnih podataka relevantnih za konzervacionu genetiku evropskih populacija.

Materijal i metode: Pretraživanje baze GenBank izvršeno je za vrstu Lynx lynx u kategoriji Nucleotide i pomoću alata BLAST search, a dostupne sekvence analizirane su prema tipu genetičkog materijala, geografskom porijeklu i dužini sekvenci (bp), dok su podaci za evropske uzorke sortirani u programu Microsoft Excel.

Rezultati: Analizom je obuhvaćeno 420 sekvenci vrste Lynx lynx koji potiču iz evropskih populacija. Rezultati su ukazali na dominaciju sekvenci mitohondrijalne DNK (mtDNA) koja čini 81,43% (342 sekvence) ukupnog seta podataka, dok sekvence informacione RNK (iRNK) i jedarne DNK učestvuju sa 9,52% (40) i 9,05% (38). Najčešća dužina mtDNA sekvenci iznosi 16.448 bp (112 zapisa, kompletni mitohondrijalni genom), dok je druga najzastupljenija dužina 724 bp (46 zapisa, kontrolna regija D-loop). Geografska distribucija ukazuje na veliku neujednačenost: više od polovine sekvenci potiče iz Španije (36,67%) i Njemačke (16,67%), dok su Dinaridi i Balkan u izrazitom deficitu i zastupljeni sa svega šest sekvenci iz Hrvatske (1,43%), bez evidentiranih zapisa iz Bosne i Hercegovine.

Zaključak: Dobijeni rezultati ukazuju na potrebu za intenzivnijim molekularnim istraživanjima i deponovanjem genetičkih podataka za dinarske i balkanske populacije radi njihovog efikasnijeg monitoringa i zaštite.

Ključne riječi: Lynx lynx; GenBank; konzervaciona genetika; mitohondrijalna DNK

UVOD

U savremenom dobu suočavamo se sa rapidnim gubljenjem globalnog biodiverziteta, pri čemu se velikom broju vrsta smanjuje brojnost i prijeti im rizik od potpunog izumiranja. Te vrste se označavaju odgovarajućim stepenima ugroženosti na crvenim listama, te se u skladu s tim definišu i sprovode specifične metode zaštite[1]. Ovim metodama se uspješno može povećati broj jedinki neke vrste, ali ipak, sama brojnost jedinki nije dovo-

ljan pokazatelj stabilnosti populacije niti garancija njenog opstanka. Najvažniji faktor u opstanku jedne vrste predstavlja njen genetički materijal. Vrste i populacije koje odlikuje visoka genetička raznovrsnost imaju veći potencijal da se adaptiraju na promjene u uslovima životne sredine, te da izdrže stresne i nepovoljne situacije. U takvim populacijama prirodna selekcija djeluje na širi spektar genetičkih varijacija, što povećava vjerovatnoću preživljavanja jedinki pri promjenama uslova životne sredine[2].

Grana genetike koja se bavi proučavanjem genetičke raznovrsnosti ugroženih vrsta i razvojem strategija za njeno očuvanje naziva se konzervaciona genetika. Njen značaj se ogleda u procjeni genetičkog statusa populacija, praćenju stopa migracija i pojava mutacija, sprječavanju ukrštanja u srodstvu (inbridinga), te u primjeni molekularnih i bioinformatičkih metoda za monitoring populacija [3]. Njen cilj je očuvanje biološke raznovrsnosti i sprečavanje izumiranja ugroženih vrsta.

Konzervaciona genetika proučava genetičke varijabilnosti unutar i između populacija, analizira parametre poput veličine populacije, inbridinga, genetičkog drifta, protoka gena i populacione strukture. Ovo je od ključnog značaja, jer genetička raznovrsnost predstavlja osnovu evolutivnog potencijala neke vrste. Populacije sa višim nivoom varijabilnosti posjeduju veću sposobnost prilagođavanja promjenama u životnoj sredini, pojavi novih bolesti i drugim ekološkim stresorima. Ona omogućava da se na vrijeme detektuju štetne posljedice genetičkog uskog grla i inbriding depresije, kao i da se precizno definiše jedinica ugroženosti i zaštite[4].

Primjena molekularnih markera ima veliku ulogu u neinvazivnom monitoringu populacija i planiranju programa reintrodukcije ili translokacije jedinki radi povećanja genetičke varijabilnosti lokalne populacije. Napredak u tehnologijama sekvenciranja nove generacije (NGS) omogućio je prelazak sa tradicionalne analize malog broja neutralnih markera na savremenu konzervacionu genomiku [3]. Analiza čitavog genoma daje znatno preciznije podatke o veličini populacije, srodstvu i genima ključnim za preživljavanje i prilagođavanje vrste [3]. Napredak u metodologiji pruža bolji uvid u mehanizme preživljavanja ugroženih vrsta, čime se stvaraju uslovi za kvalitetnije planiranje mjera očuvanja biodiverziteta.

Evroazijski ris (*Lynx lynx*) predstavlja najveću mačku evropskog kontinenta i ključnu komponentu šumskih ekosistema, čije su populacije tokom prošlog vijeka pretrpjele drastičan pad širom Evrope usljed gubitka staništa, prekomjernog lova i smanjenja prirodnog plijena. Ris je autohtona vrsta na području Dinarida i Balkanskog poluostrva, ali 1911. godine došlo je do potpunog nestanka ove vrste u Bosni i Hercegovini [5].

Godine 1973. sprovedena je reintrodukcija jedinki iz Slovačkih Karpata u Sloveniju [5,6]. Jedinke su tada migrirale kroz planinski vijenac, i ponovo nastanile dio Dinarida u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini. Kako današnja dinarska populacija potiče od samo šest reintrodukovanih jedinki [7], karakteriše je smanjena genetička raznolikost i povećan rizik od inbridinga. Upravo zbog toga evroazijski ris predstavlja dobar model za istraživanja u oblasti konzervacione genetike.

U malim i fragmentisanim populacijama dolazi do evolutivnih i genetičkih procesa koji vremenom smanjuju genetičku raznolikost, prije svega to su genetički drift i ukrštanje u srodstvu (inbriding). Genetički drift predstavlja slučajne promjene u učestalosti alela iz generacije u generaciju. Brzina i intenzitet genetičkog drifta obrnuto su proporcionalni veličini populacije; u malim populacijama promjene u frekvencijama alela su znatno izraženije, što drastično povećava vjerovatnoću trajnog gubitka rijetkih i korisnih alela ili fiksacije štetnih alela, u odnosu na velike populacije. Posebni slučajevi genetičkog drifta, u kojima je njegov efekat naročito izražen, jesu efekat uskog grla i efekat osnivača [8]. Kada frekvencija nekog alela usljed drifta dostigne nulu, on trajno nestaje iz populacije i može se nadoknaditi jedino novim mutacijama ili protokom gena [8]. Budući da je populacija risa u većem dijelu Evrope izuzetno mala i fragmentisana, ona je direktno izložena uticaju genetičkog drifta i ubrzanom gubitku genetičke raznolikosti.

Efekat uskog grla nastaje kada se broj jedinki u populaciji naglo smanji zbog prirodnih katastrofa ili ljudskog djelovanja. Preostale jedinke zadržavaju samo dio prvobitne genetičke raznolikosti, zbog čega se smanjuje genetički diverzitet populacije. Ovu pojavu potvrđuje analiza skandinavske populacije evroazijskog risa. Upotrebom 11 mikrosatelitskih lokusa i mtDNK sekvenciranjem utvrđen je smanjen broj alela, povećana homozigotnost i potpuna fiksacija za samo jedan mtDNK haplotip u Skandinaviji u poređenju sa okolnim baltičkim populacijama [9].

Efekat osnivača se javlja kada novu populaciju osnuje mali broj jedinki. Te jedinke ne nose sve gene iz izvorne populacije, te zbog toga dolazi do smanjenja genetičke varijabilnosti kod populacije njihovih potomaka. Inbriding nastaje kada se ukrštaju srodne jedinke, čime se povećava vjerovatnoća da potomci naslijede iste alele od oba roditelja. To dovodi do povećanja homozigotnosti i češćeg ispoljavanja štetnih recesivnih alela, što može izazvati inbriding depresiju [5].

Razvojem molekularne genetike i efikasnih metoda sekvenciranja DNK značajno je povećan broj dostupnih genetičkih podataka. U savremenoj konzervacionoj genetici sve više se koriste bioinformatički alati i javno dostupne baze podataka. Jedna od najznačajnijih institucija u ovoj oblasti je NCBI (National Center for Biotechnology Information). Za istraživanja u oblasti konzervacione genetike posebno je značajna GenBank, najveća javno dostupna baza podataka za čuvanje, organizovanje i razmjenu sekvenci DNK i RNK različitih organizama [10].

GenBank predstavlja javno dostupnu bazu podataka u koju istraživači nakon sprovedenih istraživanja unose dobijene nukleotidne sekvence. Svakoj sekvenci dodjeljuje se jedinstveni identifikacioni broj, poznat kao *accession number*, koji omogućava njeno označavanje i lako pronalaženje u bazi podataka [10]. Pored same sekvence DNK ili RNK, svaki GenBank zapis sadrži i brojne informacije koje omogućavaju pravilno tumačenje i korištenje podataka. Baza GenBank funkcioniše u okviru međunarodne saradnje sa Evropskom arhivom nukleotida (ENA) i Japanskom bazom podataka DNK (DDBJ) kroz International Nucleotide Sequence Database Collaboration (INSDC) [10].

Evroazijski ris (*Lynx lynx*) pripada klasi sisara (*Mammalia*) redu mesoždera (*Carnivora*), porodici mačaka (*Felidae*), i predstavlja najveću evropsku divlju mačku. U Bosni i Hercegovini prisutan je karpatski podtip ove vrste (*Lynx lynx carpathicus*), koji je nekada bio široko rasprostranjen širom Dinarskih planina. Ris je isključivo mesožder, specijalizovan za lov srednje krupnih sisara. U svom prirodnom staništu u Bosni i Hercegovini, ishrana risa se dominantno sastoji od srna, divokoza i divljih svinja [5]. Kada je dostupnost plijena ograničena često konzumira sitniji plijen poput glodara, među kojima je najčešći veliki puh [11]. Sezona parenja evroazijskog risa odvija se u periodu od sredine februara do početka aprila, nakon čega trudnoća traje 70 dana i ženka rađa mladunce tokom maja ili juna [12].

Na evropskom nivou, evroazijski ris je na IUCN Crvenoj listi svrstan u kategoriju najmanje ugroženih vrsta (*Least Concern*, LC), ali su pojedine regionalne populacije, poput balkanske, kritično ugrožene [13,14]. Na Balkanu razlikujemo tri ključne populacije: Dinarsku, koja je prošla efekat osnivača zbog reintrodukcije 1973. godine, autohtonu Balkansku populaciju (*Lynx lynx balcanicus*) koja naseljava granična područja Sjeverne Makedonije, Albanije, Crne Gore i Kosova i Metohije [15], te populaciju u istočnoj Srbiji nastalu spontanom rekolonizacijom karpatskog risa (*Lynx lynx carpathicus*) [15]. Ris je upisan na Crvenu listu ugroženih vrsta Republike Srpske [16] i Federacije Bosne i Hercegovine [17].

Molekularni markeri su specifični nizovi DNK ili RNK čije se sekvence ili dužine razlikuju među jedinkama, populacijama ili vrstama, te služe za procjenu biološke varijabilnosti [18]. Mitohondrijalna DNK je jedan od najčešće korištenih molekularnih markera, nasljeđuje se uniparentalno, po majčinskoj liniji i karakteriše je odsustvo rekombinacija

[18]. Jedarna DNK obuhvata cjelokupni genetički materijal smješten u hromozomima unutar ćelijskog jedra i nasljeđuje se biparentalno, od oba roditelja. Informaciona RNK (iRNK) služi za analizu ekspresije gena i odgovor organizma na spoljašnje ili unutrašnje faktore. Mikrosateliti su kratki ponavljajući nukleotidni motivi u jedarnoj DNK sa visokim polimorfizmom [10]. Oni nisu obuhvaćeni ovom analizom iz razloga što je baza GenBank dizajnirana za pohranjivanje kontinuiranih nukleotidnih sekvenci, dok se mikrosatelitski podaci u naučnoj literaturi uglavnom publikuju u formi tabela sa dužinama alelnih fragmenata [10].

U ovom radu analiza je usmjerena na dostupne sekvence i uzorke evroazijskog risa *Lynx lynx* iz baze podataka GenBank sa područja Evrope. Iako GenBank sadrži veliki broj sekvenci iz Azije, kao prirodnog areala rasprostranjenja ove vrste, one nisu uključene u detaljnu analizu.

Cilj ovog rada jeste da se sistematskom pretragom i analizom sekvenci mitohondrijalne DNK, jedarne DNK i informacione RNK iz baze GenBank izvrši sveobuhvatan pregled genetičkog materijala evropskih populacija evroazijskog risa (*Lynx lynx*), te evaluira geografska zastupljenost sekvenci prema državi u kojoj su sekvencirane i procijeni nivo deponovanih podataka.

MATERIJAL I METODE

Praktični dio rada zasniva se na metaanalizi i pregledu publikovanih genetičkih podataka za *Lynx lynx*, dostupnih u bazi podataka GenBank, kojoj se pristupalo putem platforme NCBI.

Pretraživanje baze podataka vršeno je putem zvanične web platforme NCBI. U glavnom polju za pretragu korišten je naučni naziv vrste: *Lynx lynx*. Kako bi se pretraga suzila na nukleotidne sekvence, u meniju sa desne strane (*Resource selector*) izabrana je kategorija *Nucleotide*. Ovim korakom filtrirani su svi dostupni zapisi molekularnih sekvenci (DNK i RNK) koji se odnose na istraživanu vrstu.

Pored pretrage baze podataka, metodologija rada obuhvatila je i analizu relevantne naučne literature iz oblasti konzervacione i populacione genetike evroazijskog risa. Tokom pregleda objavljenih radova, iz samog teksta i pratećih dodataka izdvojeni su navedeni *Accession numbers* deponovanih sekvenci. U situacijama kada je u literaturi bio naveden samo pristupni broj bez ostatka pratećih informacija, ili kada je bilo potrebno precizno potvrditi o kojoj je sekvenci riječ, korišten je bioinformatički alat BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) [10]. Unosom pristupnog broja u BLAST vršena je identifikacija i verifikacija nukleotidnih nizova, čime su dobijeni podaci o tačnom nazivu gena ili genomskog regiona i tipu genetičkog materijala (mtDNA, jedarna DNK ili iRNK) [10]. Ovim je osigurana potpuna tačnost podataka prije njihovog unosa u Microsoft Excel tabelu.

Fokus ove analize bio je usmjeren na sekvence povezane sa evropskim državama. Za zapise koji su se odnosili na istraživanja sprovedena u Evropi, izdvojene su informacije i oni su ubačeni u Microsoft Excel tabelu. Formirana je Excel tabela u koju su za svaki evropski uzorak uneseni sljedeći parametri: Pristupni broj (*Accession number*), Dužina sekvenci (bp – *base pairs*), Tip genetičkog materijala (Mitohondrijalna DNK, jedarna DNK ili informaciona RNK), Autori i Država u kojoj je izvršena analiza sekvenci.

Nakon unosa svih evropskih zapisa u Excel tabelu, izvršena je obrada podataka. Podaci su analizirani i grupisani prema: učešću različitih tipova genetičkog materijala (odnos mtDNA, jedarne DNK i iRNK), geografskoj distribuciji dostupnih sekvenci po evropskim državama i regijama u kojima je obavljeno sekvenciranje, te prosječnim i najčešćim dužinama sekvenci (bp) po tipu genetičkog materijala.

Važno je napomenuti da se geografska oznaka dostupne sekvence u većini slučajeva

odnosi na područje porijekla, odnosno prirodno stanište jedinke od koje je uzorak prikupljen. Međutim, postoje i slučajevi u kojima su uzorci prikupljeni na teritoriji jedne države, dok su njihova laboratorijska obrada i sekvenciranje obavljeni u drugoj državi. U takvim slučajevima, geografsko svrstavanje sekvenci izvršeno je prema državi u kojoj su analizirani i sekvencirani, budući da je upravo u okviru tih istraživanja genetički materijal obrađen i podaci učinjeni dostupnim u javnim bazama podataka.

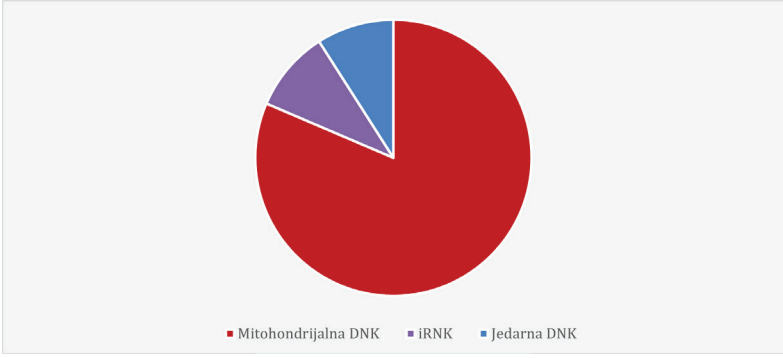
REZULTATI

Na osnovu pretrage baze podataka GenBank (NCBI) i analize naučne literature, formirana je jedinstvena baza podataka koja obuhvata ukupno 420 evropskih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*).

Prikupljeni zapisi iz baze GenBank razvrstani su prema tipu genetičkog materijala, nakon čega je prebrojan broj sekvenci unutar svake kategorije i podijeljen sa ukupnim brojem zapisa kako bi se dobio njihov procentualni udio. Struktura analiziranih sekvenci prikazana je u *Tabeli br. 1* i *Grafikonu br. 1*. Od ukupno 420 analiziranih sekvenci, najveći udio u bazi GenBank čine sekvence mitohondrijalne DNK (81,43%, ukupno 342 sekvence), dok jedarna DNK i iRNK predstavljaju manji dio. iRNK obuhvata ukupno 40 zapisa, čineći 9,52% od cjelokupnog analiziranog uzorka, dok jedarnu DNK čini 38 sekvenci (9,05%) [19].

Tip genetičkog materijala	Broj sekvenci	Učešće (%)
Mitohondrijalna DNK	342	81,43
iRNK	40	9,52
Jedarna DNK	38	9,05
Ukupno	**420**	**100**

Tabela br. 1 Struktura analiziranih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) u bazi GenBank prema tipu nukleotidnih sekvenci



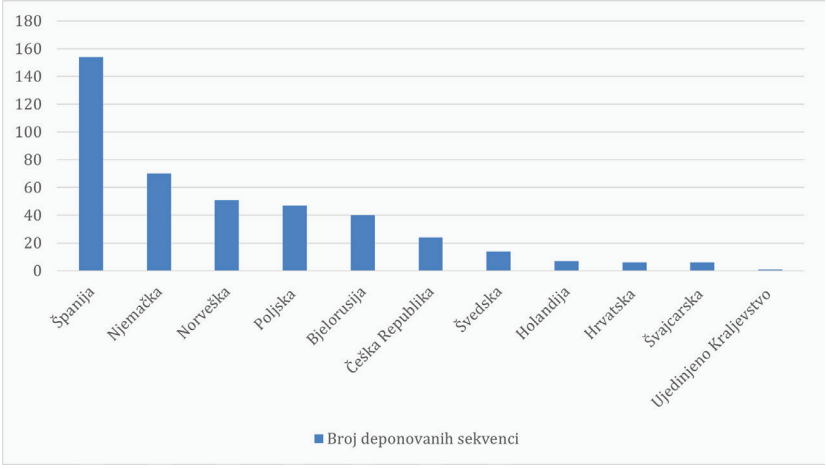
Grafikon br. 1 Grafički prikaz odnosa analiziranih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) u bazi GenBank prema tipu nukleotidnih sekvenci

U okviru analize posmatrana je geografska zastupljenost dostupnih sekvenci, pri čemu su zapisi razvrstani isključivo prema državi u kojoj su uzorci sekvencirani (*Tabela br. 2* i *Grafikon br. 2*). Španija (36,67%) i Njemačka (16,67%) zajedno čine više od 53% svih

dostupnih evropskih sekvenci u bazi GenBank. Viši udio sekvenci bilježe i Norveška (12,14%), Poljska (11,19%) i Bjelorusija (9,52%), dok su ostale evropske države, poput Češke (5,71%), Švedske (3,33%), Holandije (1,67%), Švajcarske (1,43%) i Ujedinjenog Kraljevstva (0,24%), zastupljene sa znatno manjim brojem zapisa. Postoji izrazit deficit podataka na području Balkana i Dinarida, koji su zastupljeni samo uzorcima iz Hrvatske sa svega šest sekvenci (1,43%), dok na području Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Sjeverne Makedonije i Albanije uopšte ne postoje deponovane nukleotidne sekvence [7].

Država	Broj sekvenci	Učešće (%)
Španija	154	36,67
Njemačka	70	16,67
Norveška	51	12,14
Poljska	47	11,19
Bjelorusija	40	9,52
Češka Republika	24	5,71
Švedska	14	3,33
Holandija	7	1,67
Hrvatska	6	1,43
Švajcarska	6	1,43
Ujedinjeno Kraljevstvo	1	0,24
Ukupno	420	100

Tabela br. 2 Geografska zastupljenost sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) u bazi GenBank prema državama u kojima je obavljeno sekvenciranje

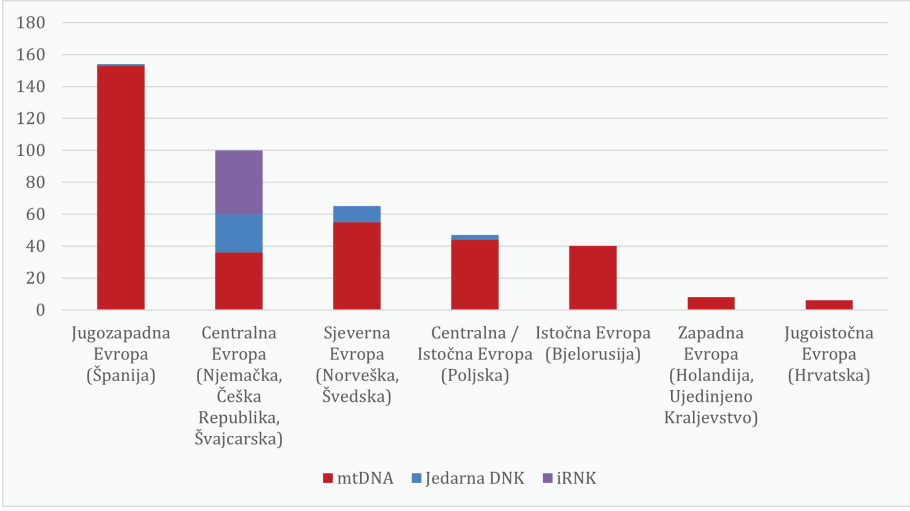


Grafikon br. 2 Grafički prikaz geografske zastupljenosti sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) prema državama u kojima je obavljeno sekvenciranje

Za potrebe populacionih i konzervacionih istraživanja sekvence su razvrstane i prema prirodnim populacijama i biogeografskim cjelinama kojima pripadaju (*Tabela br. 3* i *Grafikon br. 3*). Jugozapadna Evropa obuhvata najveći udio od 36,67% svih analiziranih sekvenci (154 zapisa, od kojih 153 pripadaju mtDNK). Centralna Evropa (23,81% ukupnih sekvenci) predstavlja metodološki najraznovrsniji region i obuhvata 24 sekvence jedarne DNK i sve sekvence iRNK (40 zapisa) [19]. Sjeverna, Centralno-istočna i Istočna Evropa zajedno čine više od 36% ukupnih zapisa. Jugoistočna Evropa učestvuje sa svega 1,43% od ukupnog uzorka (6 mtDNK sekvenci iz Hrvatske).

Biogeografska regija	Ukupno sekvenci	mtDNA	Jedarna DNK	iRNK	Učešće (%)
Jugozapadna Evropa (Španija)	154	153	1	0	36,67
Centralna Evropa (Njemačka, Češka Republika, Švajcarska)	100	36	24	40	23,81
Sjeverna Evropa (Norveška, Švedska)	65	55	10	0	15,48
Centralna / Istočna Evropa (Poljska)	47	44	3	0	11,19
Istočna Evropa (Bjelorusija)	40	40	0	0	9,52
Zapadna Evropa (Holandija, Ujedinjeno Kraljevstvo)	8	8	0	0	1,90
Jugoistočna Evropa (Hrvatska)	6	6	0	0	1,43

Tabela br. 3 Zastupljenost tipova nukleotidnih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) po geografskim regijama Evrope u kojima je obavljeno sekvenciranje

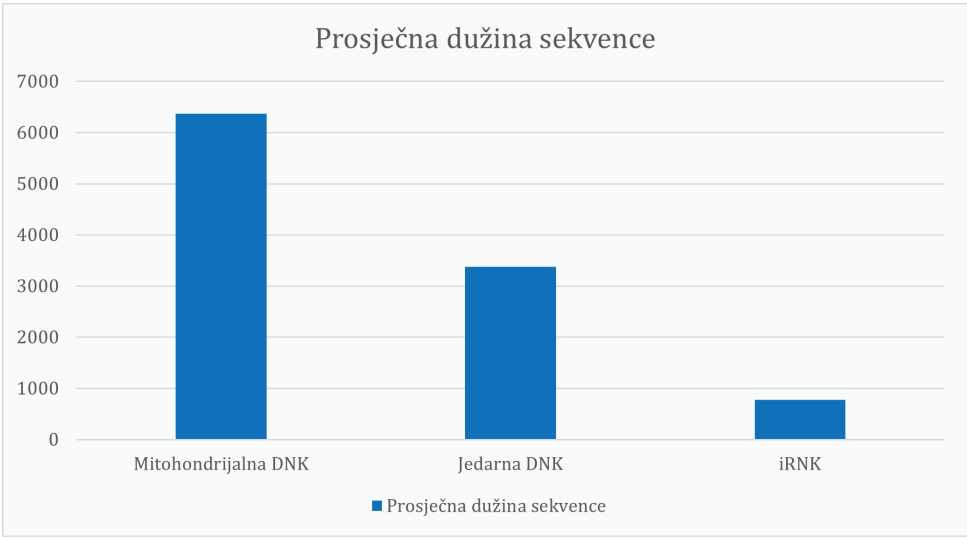


Grafikon br. 3 Grafički prikaz zastupljenosti tipova nukleotidnih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) po geografskim regijama Evrope u kojima je obavljeno sekvenciranje

Posmatrane su dužine nukleotidnih nizova (bp) za svaki prikupljeni zapis (*Tabela br. 4* i *Grafikon br. 4*). Mitohondrijalna DNK se odlikuje najvećim rasponom dužina (132 bp do 17.046 bp). Najčešća dužina u bazi iznosi 16.448 bp (ukupno 112 sekvenci), što odgovara sekvencama kompletnog mitohondrijalnog genoma risa. Druga najučestalija dužina je 724 bp (46 sekvenci), koja je fragment kontrolne regije mitohondrijalne DNK (D-loop) [20]. Prosječna dužina sekvenci jedarne DNK iznosi 3.380,74 bp, sa medijanom od 2.050,5 bp i najčešćom dužinom od 4.551 bp. iRNK ima najnižu prosječnu dužinu (779,32 bp) i medijanu (636,5 bp).

Tip genetičkog materijala	Broj (n)	Prosjek (bp)	Medijana (bp)	Najčešća dužina / Mod (bp)	Min (bp)	Max (bp)	Standardna devijacija
Mitohondrijalna DNK	342	6.369,12	724,0	16.448	132	17.046	7.691,76
Jedarna DNK	38	3.380,74	2.050,5	4.551	179	9.336	2.967,85
iRNK	40	779,32	636,5	579	213	3.903	651,50
Ukupno / Prosjek	420	5.566,38	724,0	16.448	132	17.046	7.412,35

Tabela br. 4 Statistika dužina sekvenci (bp) evroazijskog risa (*Lynx lynx*) u bazi GenBank prema tipu nukleotidnih sekvenci



Grafikon br. 4 Grafički prikaz prosječne dužine sekvenci (bp) evroazijskog risa (*Lynx lynx*) u bazi GenBank prema tipu nukleotidnih sekvenci

Pored 420 evropskih sekvenci, u bazi GenBank identifikovani su i zapisi evroazijskog risa iz devet vanevropskih zemalja (Azija, Sjeverna i Južna Amerika), koji nisu uvršteni u detaljnu obradu. Za azijske zemlje postojanje sekvenci je očekivano jer čine dio prirodnog areala, dok je prisustvo uzoraka u SAD, Kanadi, Brazilu i Japanu rezultat držanja ovih životinja u zatvoreništvu.

DISKUSIJA

Sistematskom pretragom i metaanalizom baze podataka GenBank (NCBI) prikupljeno je i obrađeno ukupno 420 sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) povezanih sa evropskim istraživanjima. Najzastupljeniji podaci pripadaju mitohondrijalnoj DNK (81,43%, 342 zapisa), dok jedarna DNK obuhvata 9,05% (38 sekvenci) i iRNK 9,52% (40 sekvenci). Dominacija mtDNK bila je očekivana jer se mitohondrijalni genom odlikuje prisustvom velikog broja kopija po ćeliji, uniparentalnim nasljeđivanjem i odsustvom rekombinacija [18]. Zbog ovih osobina mtDNK predstavlja metodološki najpouzdaniji i najpristupačniji marker pri radu sa neinvazivnim uzorcima sa terena (dlaka, izmet) ili starim trofejnim uzorcima.

Analizom dužina sekvenci mtDNK uočena su dva dominantna pika: 16.448 bp (112 zapisa, kompletni mitohondrijalni genom) i 724 bp (46 zapisa, fragment kontrolne regije D-loop). D-loop je nekodirajući dio mitohondrijalnog genoma sa visokom stopom mutacija, te se decenijama primjenjuje kao standardni marker za populaciono-genetičke studije [20].

Sve identifikovane iRNK sekvence (40 zapisa) su analizirane u Njemačkoj (IZW institut) i rezultat su studija usmjerenih na analizu ekspresije gena i reproduktivnu biologiju risa [19]. Jedarna DNK je zastupljena u manjem procentu jer zahtijeva svježe biološke uzorke visokog kvaliteta (krv ili svježe tkivo), što je kod rijetkih divljih mačaka na terenu izuzetno teško prikupiti.

Dobijeni nalazi u potpunosti se slažu sa dosadašnjom naučnom literaturom [9,20]. Međutim, sprovedena metaanaliza ukazala je i na metodološko ograničenje same baze GenBank. Mikrosatelitski genotipovi uopšte nisu obuhvaćeni bazom GenBank, jer je ona dizajnirana za pohranjivanje kontinuiranih nukleotidnih nizova u FASTA formatu, dok se mikrosatelitski podaci objavljuju u formi tabela sa dužinama alelnih fragmenata [10].

Najvažniji rezultat ove analize je izražena geografska neujednačenost dostupnih sekvenci prema državama u kojima je obavljeno njihovo sekvenciranje. Više od polovine svih analiziranih evropskih sekvenci povezano je sa Španijom (36,67%) i Njemačkom (16,67%). Znatno manji broj sekvenci povezan je sa državama jugoistočne Evrope, među kojima je Hrvatska zastupljena sa svega šest zapisa (1,43%), dok za Bosnu i Hercegovinu, Crnu Goru, Sjevernu Makedoniju i Albaniju nisu evidentirani zapisi povezani sa istraživanjima sprovedenim u tim državama. Ovakva raspodjela ukazuje na neujednačenu zastupljenost istraživačkih aktivnosti i dostupnih genetičkih podataka među evropskim državama. Ipak, ona ne mora nužno odražavati stvarnu geografsku zastupljenost populacija evroazijskog risa, budući da uzorci mogu biti prikupljeni u jednoj državi, a analizirani i sekvencirani u drugoj. Zbog toga se dobijeni rezultati moraju tumačiti u kontekstu dostupnosti i geografske zastupljenosti molekularnih istraživanja, a ne kao direktan pokazatelj rasprostranjenosti vrste ili stanja njenih populacija.

Iako je najveći broj dostupnih sekvenci vrste *Lynx lynx* u analiziranoj bazi podataka evidentiran u Španiji, važno je naglasiti da ovaj podatak ne odražava nužno stvarnu geografsku zastupljenost vrste, niti porijeklo svih analiziranih jedinki. Naime, evroazijski ris je na području Španije istorijski bio prisutan, ali je njegova populacija iščezla prije nekoliko vijekova [21]. Detaljnijom analizom podataka dostupnih u GenBank bazi utvrđeno je da dio sekvenci potiče od drevnih ostataka risa, dok se druge odnose na jedinke iz uzgoja u zatvoreništvu. Takođe, među evidentiranim sekvencama nalaze se i one dobijene analizom uzoraka prikupljenih u drugim dijelovima Evrope, ali obrađenih u istraživačkim institucijama u Španiji. Iz tog razloga, prilikom statističke obrade, ove sekvence svrstane su u Španiju prema mjestu u kojem je izvršeno sekvenciranje, a ne nužno prema stvarnom geografskom porijeklu risova. Ovakav pristup ukazuje na značaj razlikovanja mjesta porijekla biološkog materijala od mjesta njegove laboratorijske obrade prilikom interpretacije

geografske distribucije dostupnih genetičkih podataka.

Prednosti korištenja GenBank baze ogledaju se u tome što je to besplatan i javno dostupan resurs koji omogućava poređenje sekvenci putem alata BLAST bez potrebe za ponovnim uzorkovanjem [10]. Ograničenja su izostanak mikrosatelitskih podataka i zavisnost od samostalne inicijative istraživača da deponuju svoje podatke. Neophodno je pokrenuti neinvazivni monitoring na području Bosne i Hercegovine i susjednih zemalja, te uspostaviti praksu obaveznog deponovanja novoizolovanih sekvenci u bazu GenBank.

ZAKLJUČCI

Sistematskom analizom baze podataka GenBank i metaanalizom ukupno 420 evropskih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*), u ovom radu je potvrđen značaj bioinformatičkih resursa i javno dostupnih baza podataka u savremenim istraživanjima konzervacione genetike. Dobijeni rezultati pokazuju dominaciju mitohondrijalne DNK kao molekularnog markera (81,43%), što je očekivano zbog odsutnosti rekombinacija i velikog broja kopija u ćeliji. Najčešće deponovane dužine sekvenci obuhvataju kompletne mitohondrijalne genome (16.448 bp) i D-loop fragment kontrolne regije (724 bp).

Centralni uvid rada jeste postojanje izrazite geografske neujednačenosti u zastupljenosti dostupnih genetičkih podataka prema državama u kojima je obavljeno sekvenciranje. Najveći broj sekvenci povezan je sa Španijom i Njemačkom, dok je znatno manji broj povezan sa državama jugoistočne Evrope. Hrvatska je zastupljena sa svega šest zapisa (1,43%), dok za Bosnu i Hercegovinu nije evidentiran nijedan zapis. Dobijeni rezultati ukazuju na neujednačenu zastupljenost istraživačkih aktivnosti i dostupnih molekularnih podataka u različitim dijelovima Evrope.

Dobijeni rezultati ukazuju na jasnu potrebu za uspostavljanjem redovnog neinvazivnog monitoringa u našem regionu i obaveznim deponovanjem novoizolovanih sekvenci u javne baze podataka radi donošenja naučno utemeljenih odluka o zaštiti ove vrste.

LITERATURA

[1] International Union for Conservation of Nature (IUCN). IUCN Red List categories and criteria: version 3.1. 2nd ed. Gland: IUCN; 2012

[2] Kardos M, Taylor HB, Ellegren H, Luikart G, Allendorf FW. Crucial role of genome-wide genetic variation in conservation biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2021;118(48):e2104642118.

[3] Allendorf FW, Hohenlohe PA, Luikart G. Genomics and the future of conservation genetics. Nat Rev Genet. 2010;11(10). doi:10.1038/nrg2844

[4] Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA. Introduction to conservation genetics. Cambridge: Cambridge University Press; 2002.

[5] Soldo V. The lynx in Bosnia and Herzegovina. U: Breitenmoser-Würsten C, Breitenmoser U, urednici. The Balkan Lynx Population - History, Recent Knowledge on its Status and Conservation Needs. KORA Bericht Nr. 7. Muri: KORA; 2001.

[6] Kotrošan D, Bjedov V, Kryštufek B. Stanje istraženosti faune sisara Bosne i Hercegovine. Rad Šumar Fak Univ Sarajevu. 2005;30(1).

[7] Polanc P, Sindičić M, Jelenčič M, Gomerčić T, Kos I, Huber D. Genotyping success of historical Eurasian lynx (*Lynx lynx* L.) samples. Mol Ecol Resour. 2012;12(2). doi:10.1111/j.1755-0998.2011.03084.x

[8] Masel J. Genetic drift. Curr Biol. 2011;21(20):R837-8. doi:10.1016/j.cub.2011.08.007

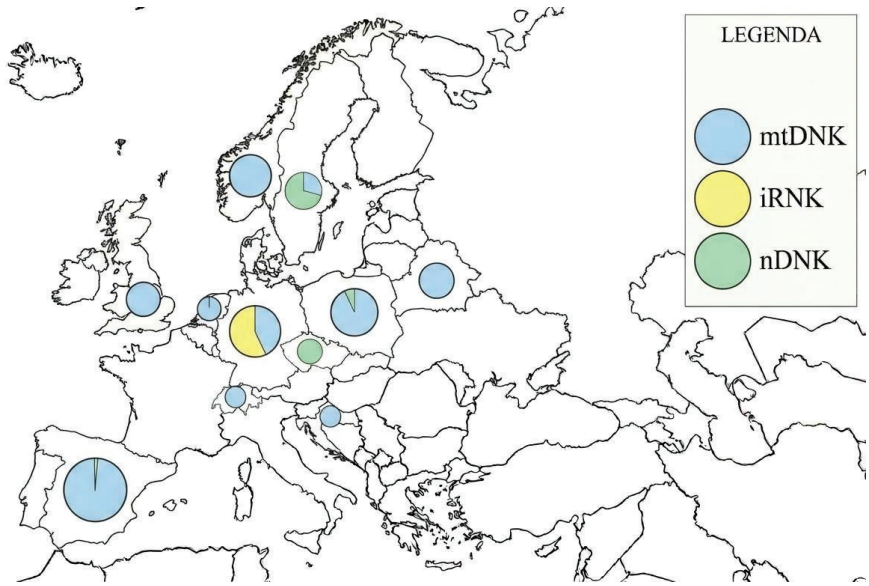
[9] Hellborg L, Walker CW, Rueness EK, Stacey JE, Ellegren H, Sundquist AK. Differentiation and levels of genetic variation in northern European lynx (*Lynx lynx*) populations revealed by microsatellites and mitochondrial DNA analysis. Conserv Genet. 2002;3(2). doi:10.1023/A:1015217723287

[10] Sayers EW, Cavanaugh M, Clark K, Ostell J, Pruitt KD, Karsch-Mizrachi I. GenBank. Nucleic Acids Res. 2019;47(D1):D94-9. doi:10.1093/nar/gky989

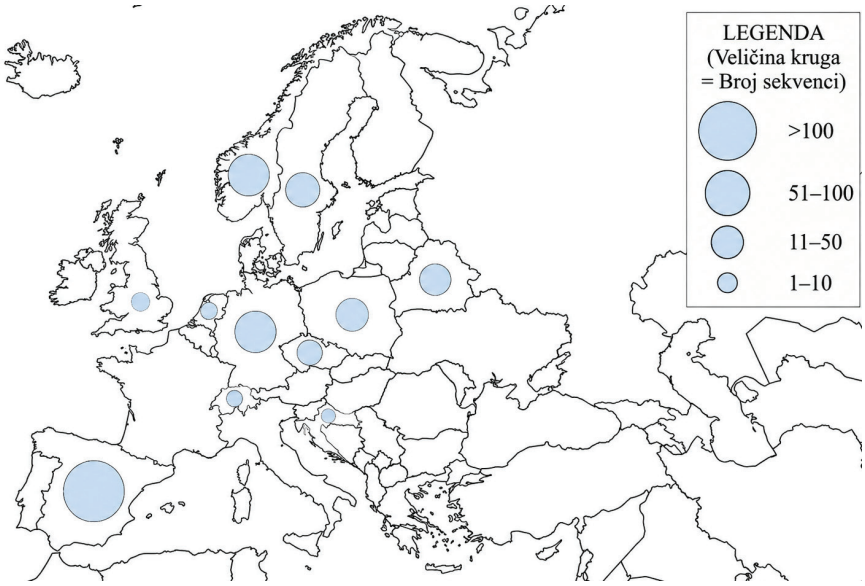
[11] Krofel M, Huber Đ, Kos I. Diet of Eurasian lynx *Lynx lynx* in the northern Dinaric Mountains (Slovenia and Croatia): Importance of edible dormouse *Glis glis* as alternative prey. Acta Theriol. 2011;56(4).

doi:10.1007/s13364-011-0032-2
[12] Henriksen G. Reproductive success, litter size and kitten survival in Eurasian lynx (*Lynx lynx)* in captivity [master rad]. Ås: Norwegian University of Life Sciences; 2005.
[13] Von Arx M, Breitenmoser-Würsten C, Breitenmoser U. Status and conservation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx)* in Europe. IUCN/SSC Cat Specialist Group; 2021.
[14] IUCN. *Lynx lynx* (Eurasian Lynx). The IUCN Red List of Threatened Species. 2021. https://www.iucnredlist.org/species/12519/213601289
[15] Paunović M, Milenković M, Ivanović-Vlahović Č. The lynx populations in the Federal Republic of Yugoslavia. U: Breitenmoser-Würsten C, Breitenmoser U, urednici. The Balkan Lynx Population - History, Recent Knowledge on its Status and Conservation Needs. KORA Bericht Nr. 7. Muri: KORA; 2001.
[16] Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske. Rješenje o Crvenoj listi zaštićenih vrsta divlje flore i faune Republike Srpske. Službeni glasnik Republike Srpske, br. 124/12; 2012.
[17] Federalno ministarstvo okoliša i turizma. Rješenje o Crvenoj listi ugroženih divljih vrsta i taksona u Federaciji Bosne i Hercegovine. Službene novine FBiH, br. 7/14; 2014.
[18] Chinnery PF, Hudson G. Mitochondrial genetics. Br Med Bull. 2013;106(1). doi:10.1093/bmb/ldt017
[19] Zschockelt L, Amelkina O, Siemieniuch MJ, Kowalewski MP, Dehnhard M, Jewgenow K, et al. Synthesis and reception of prostaglandins in corpora lutea of domestic cat and lynx. Reproduction. 2016;152(2). doi:10.1530/REP-16-0180
[20] Rueness EK, Naidenko S, Trosvik P, Stenseth NC. Large-scale genetic structuring of a widely distributed carnivore–the Eurasian lynx (*Lynx lynx*). PLoS ONE. 2014;9(4):e93675.
[21] Rodríguez-Varela R, García N, Nores C, Álvarez-Lao D, Barnett R, Arsuaga JL, Valdiosera C. Ancient DNA reveals past existence of Eurasian lynx in Spain. Journal of Zoology. 2016;298(2):94–102.

PRILOZI



Grafikon br. 5 Geografska distribucija i broj deponovanih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) prema državama



Grafikon br. 6 Geografska distribucija deponovanih sekvenci evroazijskog risa (*Lynx lynx*) prema vrstama markera

USE OF THE GENBANK DATABASE IN CONSERVATION GENETICS: AN OVERVIEW OF AVAILABLE SEQUENCES AND THEIR APPLICATION USING THE EXAMPLE OF THE SPECIES LYNX LYNX

Author: NINA KUTIĆ
E-mail: nina.kutic@student.pmf.unibl.org
Mentor: Assoc. Prof. Dragana Šnjegota
Department of Biology, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka

Introduction: Global biodiversity is facing increasing pressures that are leading to declines in the abundance and distribution of numerous species. Genetic diversity represents an important component of biodiversity, as it contributes to the adaptive potential and long-term sustainability of populations. The Eurasian lynx (Lynx lynx), the largest felid species in Europe, has experienced a significant decline in population size and distribution over the past century. The Dinaric population is particularly vulnerable, with reduced genetic diversity associated with the founder effect and inbreeding.

Aim: The aim of this study was to systematically search the GenBank (NCBI) database to review the available nucleotide sequences of Lynx lynx, determine the geographical representation of the sequences according to the country in which they were obtained, and assess the extent and structure of publicly available data relevant to the conservation genetics of European populations.

Materials and Methods: The GenBank database was searched for Lynx lynx sequences in the Nucleotide category using the BLAST search tool. The available sequences were analysed according to genetic material type, geographical origin, and sequence length (bp), while data for European samples were sorted using Microsoft Excel.

Results: The analysis included 420 sequences of Lynx lynx originating from European populations. Mitochondrial DNA (mtDNA) sequences predominated, accounting for 81.43% (342 sequences) of the dataset, while messenger RNA (mRNA) and nuclear DNA accounted for 9.52% (40) and 9.05% (38), respectively. The most common mtDNA sequence length was 16,448 bp (112 records, complete mitochondrial genome), followed by 724 bp (46 records, D-loop control region). The geographical distribution was highly uneven: more than half of the sequences are associated with Spain (36.67%) and Germany (16.67%), while the Dinaric and Balkan regions were markedly underrepresented, with only six sequences from Croatia (1.43%) and no records from Bosnia and Herzegovina.

Conclusion: The results highlight the need for intensified molecular research and deposition of genetic data for Dinaric and Balkan populations to support their effective monitoring and conservation.

Keywords: Lynx lynx; GenBank; conservation genetics; mitochondrial DNA

APSTRAKTI

УДК 544.722.123:547.415

SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NOVOG Ni(II) KOMPLEKSA SA PNO DONOSKOM ŠIFOVOM BAZOM

Autor: MIHAJO ZORIĆ, Milica Bogdanović
e-mail: mihajlo.zoric.25.4@gmail.com
Mentor: prof. dr. Mirjana Radanović
Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

Uvod: Šifove baze i njihovi kompleksi sa jonima prelaznih metala predstavljaju perspektivne funkcionalne materijale zbog mogućnosti podešavanja njihovih elektronskih i optičkih svojstava. Zbog toga se sve više istražuju kao elektrohromni i optički materijali, između ostalog i za primenu u pametnim prozorima (engl. smart-windows).

Cilj: Imajući u vidu da prisustvo velikog broja aromatičnih prstenova, azometinske grupe i elektron-bogatih funkcionalnih grupa doprinose optičkim i elektronskim svojstvima jedinjenja, cilj ovog istraživanja je sinteza novih Šifovih baza i njihovih kompleksa sa jonima metala kao potencijalnih redoks-aktivnih i optičkih materijala.

Materijal i metode: Supstance korišćene za sve analize i merenja su osušene na vazduhu i sobnoj temperaturi. Elementalna analiza (C, H, N) je izvršena standardnim mikrometodama. IR spektri su snimljeni na FT-IR (Thermo Nicolet-Nexus G70) spektrofotometru primenom ATR tehnike u opsegu $4000cm^{-1}$–$400cm^{-1}$. Struktura kompleksa je određena metodom difrakcije X-zraka na monokristalu. Kristalografsko merenje je izvedeno na Oxford Diffraction Gemini S goniometru koji je opremljen sa Sapphire CCD detektorom. Kompleks formule [NiLCl] (L = 2-(difenilfosfino)benzaldehid salicilhidrazon) dobijen je templatnom sintezom 2-(difenilfosfino)benzaldehida sa salicilhidrazidom i NiCl2 u molarnom odnosu 1:1:1 primenom solvotermalne metode u DMF na 100 °C. Nakon 4 h odvijanja reakcije, reakciona smeša je ostavljena da se ohladi na sobnoj temperaturi i potom ostavljena u frižider. Nakon dva dana, reakciona smeša je izvađena iz frižidera i ostavljena da uparava na sobnoj temperaturi. Nakon dva dana izdvojili su se tamno-narandžasti kristali kompleksa.

Rezultati: Ni(II) se nalazi u kvadratno-planarnom okruženju donornih atoma PNO donorne Šifove baze i jednog hlorido liganda. Opisani način koordinacije Šifove baze vodi formiranju jednog petočlanog i jednog šestočlanog metalocikla.

Zaključak: U ovom radu je izvršena sinteza, fizičko-hemijska i strukturna karakterizacija kompleksa Ni(II) sa Šifovom bazom 2-(difenilfosfino)benzaldehida i salicilhidrazida. Rezultati pokazuju da se Ni(II) nalazi u kvadratno-planarnom okruženju P, N i O donornih atoma helatnog liganda u neutralnoj formi i jednog hlorido liganda.

Ključne reči: 2-(difenilfosfino)benzaldehid; salicilhidrazid; Ni(II) kompleks; rendgenska strukturna analiza

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF A NOVEL Ni(II) COMPLEX WITH A PNO-DONOR SCHIFF BASE

Authors: MIHAJLO ZORIĆ, Milica Bogdanović
E-mail: mihajlo.zoric.25.4@gmail.com
Mentor: Assoc. Prof. Mirjana Radanović
Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Faculty of Science, University of Novi Sad

Introduction: Schiff bases and their transition-metal complexes represent promising functional materials due to the tunability of their electronic and optical properties. Consequently, they are increasingly investigated as electrochromic and optical materials, including for applications in smart windows.

Aim: Considering that the presence of multiple aromatic rings, an azomethine group, and electron-rich functional groups may contribute to favorable optical and electronic properties of the compounds, this study aims to synthesize new 2-(diphenylphosphino)benzaldehyde Schiff bases and their metal complexes as potential redox-active and optical materials.

Materials and Methods: All substances used for analyses and measurements were air-dried at room temperature. Elemental analysis (C, H, N) was performed using standard microanalytical methods. IR spectra were recorded using a Thermo Nicolet-Nexus G70 FT-IR spectrophotometer with an ATR accessory in the range of 4000–400 cm^{-1}. The crystal structure of the complex was determined by single-crystal X-ray diffraction. Data collection was performed on an Oxford Diffraction Gemini S diffractometer equipped with a Sapphire CCD detector. The complex [NiLCl], where L = 2-(diphenylphosphino)benzaldehyde salicylhydrazone, was obtained by the template reaction of 2-(diphenylphosphino)benzaldehyde, salicylhydrazide, and $NiCl_2$ in a 1:1:1 molar ratio using a solvothermal method at 100 °C for 4 h in DMF. The mixture was cooled to room temperature, refrigerated for two days, and subsequently left to evaporate at room temperature. Dark-orange crystals were obtained after two additional days.

Results: The Ni(II) center adopts a square-planar coordination geometry involving P, N, O, and Cl donor atoms. The coordination mode of the chelating ligand results in the formation of one five- and one six-membered metallocycle.

Conclusion: A novel Ni(II) complex with a 2-(diphenylphosphino)benzaldehyde salicylhydrazone Schiff base was synthesized and structurally characterized. The Ni(II) ion exhibits a square-planar coordination environment defined by P, N, and O donor atoms of the ligand and a chloride ion.

Keywords: 2-(Diphenylphosphino)benzaldehyde; salicylhydrazide; Ni(II) complex; X-ray structural analysis

УДК 539.1.074.8:530.145

SAMOUSAGLAŠENA BORNOVA APROKSIMACIJA ZA APSORPCIONE SPEKTRE MOLEKULARNIH AGREGATA

Autor: MILICA RAKOVIĆ
e-mail: milicarakov@gmail.com
Mentor: dr Veljko Janković, viši naučni saradnik
Institut za fiziku, Beograd

Uvod: Fotosintetički pigment-proteinski kompleksi predstavljaju veoma efikasne prirodne sisteme za apsorpciju sunčeve energije. Bolje razumevanje prenosa energije u ovim sistemima može doprineti razvoju efikasnijih solarnih ćelija. U ovom radu proučavana je apsorpcija svetlosti prstena B800 u kompleksu *Light Harvesting Complex 2 (LH2)*.

Cilj: Cilj rada je ispitivanje uticaja interakcije eksitona sa rezervoarom na apsorpcioni spektar i razvoj samousaglašene prepravke Bornove aproksimacije za opis apsorpcije svetlosti kod ovog sistema.

Materijal i metode: Dinamika sistema opisana je retardovanom Grinovom funkcijom, na osnovu koje je određena funkcija oblika apsorpcione linije, odnosno konstruisan spektar. Spektri su računati u Bornovoj aproksimaciji (*BA*) i samousaglašenoj Bornovoj aproksimaciji (*SCBA*). U *SCBA* se Grinova funkcija i sopstvena energija određuju iterativno, počevši od rezultata koje daje *BA*. Rezultati za monomer upoređeni su sa egzaktnim rešenjem, dok su rezultati za agregate sa $N = 2\text{-}9$ molekula upoređeni sa metodom hijerarhijskih jednačina kretanja (*HEOM*).

Rezultati: *SCBA* uklanja nefizičke pikove koji se u određenim oblastima parametarskog prostora javljaju u BA. Za ispitivane parametre, *SCBA* daje bolje slaganje sa egzaktnim rešenjem u odnosu na *BA*. Pri poređenju sa *HEOM* metodom, faktor poklapanja *SCBA* rezultata ostaje iznad 80% za sve razmatrane vrednosti *N*, što je daleko više od faktora poklapanja koje daje *BA*.

Zaključak: *SCBA* predstavlja znatno poboljšanje u odnosu na *BA*, jer daje spektar sa fizički očekivanim jednim pikom i pokazuje dobro poklapanje sa egzaktnim rešenjem. Na taj način, uz korišćenje znatno manje kompjuterskih resursa, *SCBA* metoda daje pouzdan opis apsorpcionih spektara B800 prstena u *LH2* kompleksu.

Ključne reči: *LH2* kompleks; eksitoni; apsorpcioni spektar; Grinova funkcija; korelaciona funkcija; Bornova aproksimacija; samousaglašena Bornova aproksimacija

SELF-CONSISTENT BORN APPROXIMATION FOR THE ABSORPTION SPECTRA OF MOLECULAR AGGREGATES

Author: MILICA RAKOVIĆ
E-mail: milicarakov@gmail.com
Mentor: Dr. Veljko Janković, Senior Research Associate
Institute of Physics, Belgrade

Introduction: Photosynthetic pigment-protein complexes are highly efficient natural systems for absorbing solar energy. A better understanding of energy transfer in these systems can contribute to the development of more efficient solar cells. In this work, the light absorption of the B800 ring in the Light Harvesting Complex 2 was studied.

The aim: The aim of this work is to investigate the influence of exciton-bath interaction on the absorption spectrum and to develop a self-consistent modification of the Born approximation for describing light absorption in this system.

Materials and methods: The system dynamics were described using the retarded Green's function, from which the absorption line-shape function was obtained and used to construct the spectrum. The spectra were calculated within the Born approximation (BA) and the self-consistent Born approximation (SCBA). In SCBA, the Green's function and self-energy are determined iteratively, starting from the results obtained within BA. The results for a monomer were compared with the exact solution, while the results for aggregates consisting of $N = 2–9$ molecules were compared with the hierarchical equations of motion (HEOM) method.

Results: SCBA eliminates the unphysical peaks that appear within certain regions of the parameter space in the spectra obtained using BA. For the investigated parameters, SCBA shows better agreement with the exact solution than BA. When compared with the HEOM method, the agreement factor of the SCBA results remains above 80% for all considered values of N, which is substantially higher than the agreement factor obtained with BA.

Conclusion: SCBA represents a significant improvement over BA, as it produces a spectrum with the physically expected single peak and shows good agreement with the exact solution. Thus, while requiring significantly fewer computational resources, the SCBA method provides a reliable description of the absorption spectra of the B800 ring in the LH2 complex.

Keywords: LH2 complex; excitons; absorption spectrum; Green's function; correlation function; Born approximation; self-consistent Born approximation

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

5(082)

НАУЧНО-стручни скуп Студенти у сусрет науци - StES (19 ; 2026 ; Бања Лука)
Prirodne nauke : zbornik radova / 19. naučno-stručni skup Studenti u susret nauci - StES 2026, Banja Luka = Natural Sciences : proceedings / 19th scientific conference Students encountering science - StES 2026 ; [urednik Valentina Knežević]. - Banja Luka : Univerzitet u Banjoj Luci : Studentski parlament Univerziteta, 2026 (Banja Luka : Mikro print). - 68 стр. : илустр. и илустр. у бојама ; 25 cm. - (Prirodne nauke, ISSN 2637-1987, ISSN 2637-1928)

Dostupno i na:
https://stes.blupress.unibl.org/index.php/nat/issue/view/10. -
Тираж 25. - Библиографија уз сваки рад. - Abstracts.

ISBN 978-99997-45-56-7

COBISS.RS-ID 145052417