

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ЗБОРНИК САЖЕТАКА

НАУЧНЕ КОНФЕРЕНЦИЈЕ
СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

„ПРИМАТ30“





УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ

UNIVERSITY OF BANJA LUKA

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

FACULTY OF NATURAL SCIENCES AND MATHEMATICS

ЗБОРНИК САЖЕТАКА

НАУЧНЕ КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

„ПРИМАТ30“



BOOK OF ABSTRACTS

OF THE SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION

“PRIMAT30”

Бања Лука, 2026.

Banja Luka, 2026

Наслов дјела:

ЗБОРНИК САЖЕТАКА НАУЧНЕ
КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА
МЕЂУНАРОДНИМ
УЧЕШЋЕМ „ПРИМАТ30“

Уредник:

Проф. др Татјана Попов

Издавач:

Универзитет у Бањој Луци
Природно-математички факултет
Бања Лука, Универзитетски град,
Булевар војводе Петра Бојовића 1А

За издавача:

Проф. др Горан Трбић

Лектура и коректура:

Проф. др Драгомир Козомара
Доц. др Невена Вучен Папић

**Аутор прелома и графичке
обrade публикације:**

Проф. др Татјана Попов

ISBN: 978-99976-86-33-6

Штампа:

Електронско издање

Мјесто и година издања:

Бања Лука, 2026. година

Лиценца:

Creative Commons Ауторство –
некомерцијално – без прерада 4.0
Међународна лиценца
(CC BY-NC-ND 4.0)

Title of the publication:

BOOK OF ABSTRACTS OF THE
SCIENTIFIC CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL
PARTICIPATION “PRIMAT30”

Editor:

Prof. Dr. Tatjana Popov

Publisher:

University of Banja Luka
Faculty of Natural Sciences and Mathematics
Banja Luka, Univerzitetski grad
Bulevar vojvode Petra Bojovica 1A

For the publisher:

Prof. Dr. Goran Trbić

Language editing and proofreading:

Prof. Dr. Dragomir Kozomara
Doc. Dr. Nevena Vučen Papić

**Publication layout and graphic
design:**

Prof. Dr. Tatjana Popov

ISBN: 978-99976-86-33-6

Print:

Electronic edition

Place and year of publication:

Banja Luka, 2026

License:

Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives 4.0
International License
(CC BY-NC-ND 4.0)

Уређивачки одбор:

Проф. др Горан Трбић
Доц. др Дино Хасанагић
Проф. др Драгана Шњегота
Проф. др Александра Петрашевић
Проф. др Драгојла Голуб
Доц. др Димитрије Чвокић
Проф. др Неда Живак
Проф. др Драгана Маливук Гак
Доц. др Сњежана Дупљанин
Проф. др Милица Балабан

Научни одбор:

Проф. др Горан Трбић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ, *предсједник*
Проф. др Татјана Попов, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ
Доц. др Дино Хасанагић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ
Проф. др Милица Балабан, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ
Проф. др Драгојла Голуб, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ
Доц. др Сњежана Дупљанин, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ
Проф. др Неда Живак, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ
Проф. др Драгана Маливук Гак, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет
Проф. др Александра Петрашевић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ

Editorial Board:

Prof. Dr. Goran Trbić
Doc. Dr. Dino Hasanagić
Prof. Dr. Dragana Šnjegota
Prof. Dr. Aleksandra Petrašević
Prof. Dr. Dragojla Golub
Doc. Dr. Dimitrije Čvokić
Prof. Dr. Neda Živak
Prof. Dr. Dragana Malivuk Gak
Doc. Dr. Snježana Duplanin
Prof. Dr. Milica Balaban

Scientific Committee:

Prof. Dr. Goran Trbić, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H, *Chair*
Prof. Dr. Tatjana Popov, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H
Doc. Dr. Dino Hasanagić, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H
Prof. Dr. Milica Balaban, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H
Prof. Dr. Dragojla Golub, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H
Doc. Dr. Snježana Dupljanin, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H
Prof. Dr. Neda Živak, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H
Prof. Dr. Dragana Malivuk Gak, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H
Prof. Dr. Aleksandra Petrašević, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H

Доц. др Димитрије Чвокић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ

Проф. др Драгана Шњегота, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, БиХ

Проф. др Растко Ајтић, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, Србија

Проф. др Милош Арсеновић, Универзитет у Београду, Математички факултет, Србија

Проф. др Драган Бурић, Универзитет Црне Горе, Филозофски факултет, Црна Гора

Проф. др Бранимир Јованчићевић, Универзитет у Београду, Хемијски факултет, Србија

Проф. др Данијела Којић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Србија

Доц. др Драган Милошевић, Универзитет и истраживачки центар Вагенинген, Холандија

Проф. др Климент Наумов, Универзитет „Св. Климент Охридски“ Битола, Факултет за туризам и угоститељство Охрид, Сјеверна Македонија

Проф. др Матеј Огрин, Универзитет у Љубљани, Филозофски факултет, Словенија

Проф. др Милан Пантић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Србија

Проф. др Зоран Поповић, Универзитет у Београду, Физички факултет, Србија

Проф. др Стеван Савић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Србија

Доц. др Ник Стопар, Универзитет у Љубљани, Грађевинско-геодетски факултет, Словенија

Проф. др Дејан Филиповић, Универзитет у Београду, Географски факултет, Србија

Doc. Dr. Dimitrije Čvokić, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H

Prof. Dr. Dragana Šnjegota, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, B&H

Prof. Dr. Rastko Ajtić, University of Kragujevac, Faculty of Science, Serbia

Prof. Dr. Miloš Arsenović, University of Belgrade, Faculty of Mathematics, Serbia

Prof. Dr. Dragan Burić, University of Montenegro, Faculty of Philosophy, Montenegro

Prof. Dr. Branimir Jovančičević, University of Belgrade, Faculty of Chemistry, Serbia

Prof. Dr. Danijela Kojić, University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Serbia

Doc. Dr. Dragan Milošević, Wageningen University & Research, the Netherlands

Prof. Dr. Kliment Naumov, University “St. Kliment Ohridski” Bitola, Faculty of Tourism and Hospitality, Ohrid, North Macedonia

Prof. Dr. Matej Ogrin, University of Ljubljana, Faculty of Arts, Slovenia

Prof. Dr. Milan Pantić, University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Serbia

Prof. Dr. Zoran Popović, University of Belgrade, Faculty of Physics, Serbia

Prof. Dr. Stevan Savić, University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Serbia

Doc. Dr. Nik Stopar, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia

Prof. Dr. Dejan Filipović, University of Belgrade, Faculty of Geography, Serbia

Организациони одбор:

Проф. др Татјана Попов, *предсједник*
Проф. др Драгана Маливук Гак
Доц. др Дино Хасанагић
Доц. др Рајко Рољић
Доц. др Јелена Гајић
Доц. др Иван Вања Бороја
Др Маја Шибаревић, виши асистент
Марко Иванишевић, ма, виши асистент
Сања Пржуљ, ма, виши асистент
Јелена Вукаловић, ма, виши асистент
Владан Јагузовић, ма, виши асистент
Бојан Ковачевић, ма, виши асистент
Вања Мирјана Вујић, ма, асистент

Organizing Committee:

Prof. Dr. Tatjana Popov, *Chair*
Prof. Dr. Dragana Malivuk Gak
Doc. Dr. Dino Hasanagić
Doc. Dr. Rajko Roljić
Doc. Dr. Jelena Gajić
Doc. Dr. Ivan Vanja Boroja
Dr. Maja Šibarević, Senior Assistant
Marko Ivanišević, MA, Senior Assistant
Sanja Pržulj, MA, Senior Assistant
Jelena Vukalović, MA, Senior Assistant
Vladan Jaguzović, MA, Senior Assistant
Bojan Kovačević, MA, Senior Assistant
Vanja Mirjana Vujić, MA, Assistant

Научна конференција са међународним учешћем „ПРИМАТ30“ организована је 11–12. септембра 2026. године поводом обиљежавања 30 година рада Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој Луци.

Сви сажети прошли су поступак двоструко слијепе рецензије.



The scientific conference with international participation “PRIMAT30” was organized on September 11–12, 2026, to mark the 30th anniversary of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka.

All abstracts underwent a double-blind peer review process.

Садржај Table of Contents

ПЛЕНАРНА СЕКЦИЈА PLENARY SESSION

Рајко Гњато

ИЗАЗОВИ И ПРОБЛЕМИ СРПСКЕ НАЦИОНАЛНЕ ГЕОГРАФИЈЕ

Rajko Gnjata

CHALLENGES AND PROBLEMS OF SERBIAN NATIONAL GEOGRAPHY 28

Дејан Ђорђевић

КРИТИЧКИ ОСВРТ НА ПРОСТОРНО ПЛАНИРАЊЕ У СРБИЈИ У
ПРВОЈ ЧЕТВРТИНИ 21. ВЕКА

Dejan Đorđević

SPATIAL PLANNING IN SERBIA IN THE FIRST QUARTER OF THE
21ST CENTURY: A CRITICAL REVIEW 29

Данијела Којић, Срђана Ђорђевић, Јелена Спремо, Милица

Раденковић, Елвира Вукашиновић, Татјана Челић, Иван Пихлер,

Нада Плавша, Јелена Пураћ

НУТРИЈЕНТИ КАО ЕПИГЕНЕТИЧКИ МОДУЛАТОРИ СА УТИЦАЈЕМ
НА СТАРЕЊЕ

Danijela Kojić, Srđana Đorđević, Jelena Spremo, Milica Radenković,

Elvira Vukašinović, Tatjana Čelić, Ivan Pihler, Nada Plavša, Jelena Purać

NUTRIENTS AS EPIGENETIC MODULATORS WITH IMPACT ON AGING 31

Растко Ајтић

БИОЛОГИЈА ИЗА ЗИДИНА СВЕТЕ ГОРЕ: ИСТРАЖИВАЊЕ
ВОДОЗЕМАЦА И ГМИЗАВАЦА ПОЛУОСТРВА АТОС –
ЛОГИСТИКА, МЕТОДЕ И ТЕРЕНСКА ИСКУСТВА

Rastko Ajtić

BIOLOGY BEHIND THE WALLS OF THE HOLY MOUNTAIN:
RESEARCH ON THE AMPHIBIANS AND REPTILES OF THE ATHOS
PENINSULA – LOGISTICS, METHODS, AND FIELD EXPERIENCES 33

Весна Антић

АГРОИНДУСТРИЈСКИ ОТПАД У ЦИРКУЛАРНОЈ ЕКОНОМИЈИ:
ОД ФУНКЦИОНАЛНЕ ХРАНЕ ДО ОДРЖИВЕ АМБАЛАЖЕ И
ТЕРМОХЕМИЈСКИХ ПРОИЗВОДА

Vesna Antić

AGRO-INDUSTRIAL WASTE IN THE CIRCULAR ECONOMY: FROM
FUNCTIONAL FOODS TO SUSTAINABLE PACKAGING AND
THERMOCHEMICAL PRODUCTS 35

Лука Ч. Поповић

СУПЕРМАСИВНЕ ЦРНЕ РУПЕ У ВАСИОНИ – КОЕВОЛУЦИЈА
СА ГАЛАКСИЈАМА

Luka Č. Popović

SUPERMASSIVE BLACK HOLES IN THE UNIVERSE – COEVOLUTION
WITH GALAXIES

37

Миодраг Матељевић

НЕКИ АСПЕКТИ ТЕОРИЈЕ ПОТЕНЦИЈАЛА, ВИЗУАЛИЗАЦИЈА,
ВАРИЈАЦИОНИ РАЧУН И ПРИМЕНЕ

Miodrag Mateljević

SOME ASPECTS OF POTENTIAL THEORY, VISUALIZATION,
CALCULUS OF VARIATIONS AND APPLICATIONS

38

БИОЛОГИЈА И ЕКОЛОГИЈА

BIOLOGY AND ECOLOGY

Синиша Шкондрић, Санда Хоџић

МОРФОЛОШКА ВАРИЈАБИЛНОСТ ВРСТЕ *Crataegus monogyna*
(Rosaceae) НА ПОДРУЧЈУ БАЊ БРДА (БАЊА ЛУКА, РЕПУБЛИКА
СРПСКА)

Siniša Škondrić, Sanda Hodžić

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF *Crataegus monogyna* (Rosaceae)
IN THE AREA OF BANJ BRDO (BANJA LUKA, THE REPUBLIC
OF SRPSKA)

42

Зорана Хркић Илић

РАЗЛИКЕ У АНАТОМСКОЈ ГРАЂИ ЛИСКЕ И ЛИСНЕ ДРШКЕ
ТРИ КЛОНА ВРБА (*Salix* spp.)

Zorana Hrkić Ilić

DIFFERENCES IN THE ANATOMICAL STRUCTURE OF THE
LEAF BLADE AND PETIOLE OF THREE WILLOW CLONES
(*Salix* spp.)

44

Јасмина Камберовић, Маја Палангетић

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ЦВЈЕТАЊА АЛГИ У ВИШЕГРАДСКОЈ
АКУМУЛАЦИЈИ (РИЈЕКА ДРИНА)

Jasmina Kamberović, Maja Palangetić

CHARACTERIZATION OF ALGAL BLOOM IN THE VIŠEGRAD RESERVOIR
(DRINA RIVER)

46

Ружица Ждери Павловић, Сара Хоурани, Алисија Кучарска,

Бранимир Павлић, Борис М. Поповић

ФИТОХЕМИЈСКИ САСТАВ И БИОЛОШКА АКТИВНОСТ
ЛИСТА БОРОВНИЦЕ (*Vaccinium myrtillus* L.)

<i>Ružica Ždero Pavlović, Sara Hourani, Alicja Kucharska, Branimir Pavlić, Boris M. Popović</i> PHYTOCHEMICAL PROFILE AND BIOLOGICAL ACTIVITIES OF BILBERRY LEAF (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	48
<i>Милица Раденковић, Данијела Којић, Јелена Пураћ, Никола Кривокућа, Теа Скенџић, WP2 WildPosh Consortium, Анте Вујић</i> АКУТНА ОРАЛНА ТОКСИЧНОСТ ЦИПЕРМЕТРИНА И ТЕБУКОНАЗОЛА КОД ВРСТЕ <i>Eristalinus aeneus</i> (Scopoli, 1763) (Diptera: Syrphidae) <i>Milica Radenković, Danijela Kojić, Jelena Purać, Nikola Krivokuća, Tea Skendžić, WP2 WildPosh Consortium, Ante Vujić</i> ACUTE ORAL TOXICITY OF CYPERMETHRIN AND TEBUCONAZOLE IN <i>Eristalinus aeneus</i> (Scopoli, 1763) (Diptera: Syrphidae)	50
<i>Мирела Укропина, Марија Ђурђевић, Маја Чакић-Милошевић</i> ДИНАМИКА ТИРЕОЦИТА У МЕТИМАЗОЛ-ИНДУКОВАНОЈ ХИПОТИРЕОЗИ КОД ПАЦОВА <i>Mirela Ukropina, Marija Đurđević, Maja Čakić-Milošević</i> THYREOCYTE DYNAMICS IN METHIMAZOLE-INDUCED HYPOTHYROIDISM IN RATS	52
<i>Мирела Укропина, Марија Ђурђевић, Маја Чакић-Милошевић</i> МЕТИМАЗОЛОМ ИНДУКОВАНА ХИПОТИРЕОЗА УТИЧЕ НА ХИСТОЛОШКУ ОРГАНИЗАЦИЈУ ШТИТНЕ ЖЛЕЗДЕ КОД ПАЦОВА <i>Mirela Ukropina, Marija Đurđević, Maja Čakić-Milošević</i> METHIMAZOLE-INDUCED HYPOTHYROIDISM AFFECTS HISTOLOGICAL ORGANISATION OF THYROID GLAND IN RATS	54
<i>Ксенија Величковић, Анђелија Гудељ, Невена Савић, Весна Оташевић, Милица Маркелић, Ана Станчић, Илијана Григоров</i> ВИСОКА КОНЦЕНТРАЦИЈА ДЕКСТРОЗЕ ИНДУКУЈЕ ОКСИДАТИВНИ СТРЕС У ЦРЕВУ ПАЦОВА: УЛОГА Nrf2/HMGB1/NF-κB ПУТА <i>Ksenija Veličković, Anđelija Gudelj, Nevena Savic, Vesna Otašević, Milica Markelić, Ana Stančić, Ilijana Grigorov</i> HIGH CONCENTRATION OF DEXTROSE INDUCES OXIDATIVE STRESS IN THE RAT INTESTINE: ROLE OF Nrf2/HMGB1/NF-κB PATHWAY	56
<i>Леа Малешевић, Дијана Алексић, Милана Ракић, Марина Панић, Маја Караман, Сања Крстић, Милена Рашета</i> БИОАКТИВНИ ПОТЕНЦИЈАЛ <i>Fistulina hepatica</i> : АНТИМИКРОБНА АКТИВНОСТ И ИНХИБИЦИЈА ЦИКЛООКСИГЕНАЗЕ (COX) <i>Lea Malešević, Dijana Aleksić, Milana Rakić, Marina Panić, Maja Karaman, Sanja Krstić, Milena Rašeta</i> BIOACTIVE POTENTIAL OF <i>Fistulina hepatica</i> : ANTIMICROBIAL ACTIVITY AND CYCLOOXYGENASE (COX) INHIBITION	58

<i>Лејла Мујакић, Кенан Коњић</i> РАЗВОЈ ХАРМОНИЗОВАНОГ АЛАТА ЗА АУТОМАТИЗОВАНИ ИЗРАЧУН ЕЛЕНБЕРГОВИХ ИНДИКАТОРСКИХ ВРИЈЕДНОСТИ <i>Lejla Mujakić, Kenan Konjić</i> AUTOMATED CALCULATION OF ELLENBERG-TYPE INDICATOR VALUES FOR VASCULAR PLANTS	60
<i>Тања Максимовић, Дино Хасанагић</i> ВЈЕШТАЧКЕ БАШТЕ КАО ОДГОВОР НА КЛИМАТСКЕ ПРОМЈЕНЕ <i>Tanja Maksimović, Dino Hasanagić</i> ARTIFICIAL GARDENS AS A RESPONSE TO CLIMATE CHANGE	62
<i>Јелена Димитријевић, Дубравка Шкраба Јурлина, Рајко Рољић, Вера Николић</i> ПРЕЛИМИНАРНИ РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА СЕЗОНСКЕ ДИНАМИКЕ И САСТАВА ЗАЈЕДНИЦЕ ЗООПЛАНКТОНА НА РАМСАРСКОМ ПОДРУЧЈУ БАРДАЧА <i>Jelena Dimitrijević, Dubravka Škraba Jurlina, Rajko Roljić, Vera Nikolić</i> PRELIMINARY RESULTS OF THE STUDY ON SEASONAL DYNAMICS AND COMMUNITY COMPOSITION OF ZOOPLANKTON IN THE BARDAČA RAMSAR SITE	64
<i>Вера Вуканић, Миодраг Маловић</i> РАЗНОВРСНОСТ И ПРОСТОРНА ДИСТРИБУЦИЈА ЗАЈЕДНИЦА КОПЕПОДА У БОКОКОТОРСКОМ ЗАЛИВУ, ЈУЖНИ ЈАДРАН: ЗНАЧАЈ ЗА МОНИТОРИНГ КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА <i>Vera Vukanić, Miodrag Malović</i> DIVERSITY AND SPATIAL DISTRIBUTION OF COPEPOD COMMUNITIES IN BOKA KOTORSKA BAY (SOUTHERN ADRIATIC SEA): IMPLICATIONS FOR CLIMATE CHANGE MONITORING	66
<i>Свјетлана Цвијић, Владан Вукајловић, Јелена Оборина, Дејан Дмитровић</i> МАКРОЗООБЕНТОС ИЗВОРИШНОГ ДИЈЕЛА ВОДОТОКА ВРИЈЕКА У ДАБАРСКОМ ПОЉУ <i>Svetlana Cvijić, Vladan Vukajlović, Jelena Oborina, Dejan Dmitrović</i> MACROZOOBENTHOS OF THE SPRING SECTION OF THE VRIJEKA WATERCOURSE IN DABARSKO POLJE	68
<i>Елвира Хаџиахметовић Јурида, Амра Икенић, Ена Незировић Омердић, Мaja Шибаревић, Рајко Рољић</i> МАКРОЗООБЕНТОС КАО БИОИНДИКАТОР УРБАНОГ И ИНДУСТРИЈСКОГ ЗАГАЂЕЊА РИЈЕКЕ ЈАЛЕ У ТУЗЛИ <i>Elvira Hadžiahmetović Jurida, Amra Ikinić, Ena Nežirović Omerdić, Maja Šibarević, Rajko Roljić</i> MACROZOOBENTHOS AS A BIOINDICATOR OF URBAN AND INDUSTRIAL POLLUTION OF THE JALA RIVER IN TUZLA	70

Горан Шукало, Дејан Дмитровић

ГМИЗАВЦИ РАМСАРСКОГ ПОДРУЧЈА БАРДАЧА – СПИСАК ВРСТА
СА ЕКОЛОШКИМ И КОНЗЕРВАЦИОНИМ ПОДАЦИМА

Goran Šukalo, Dejan Dmitrović

REPTILES OF THE BARDAČA WETLAND RAMSAR SITE – SPECIES
CHECKLIST WITH ECOLOGICAL AND CONSERVATION DATA 72

Ена Незировић Омердић, Елвира Хаџиахметовић Јурида

УТИЦАЈ ТЕМПЕРАТУРЕ И ПАДАВИНА НА БРОЈНОСТ ВРСТЕ

Culex pipiens

Ena Nezirović Omerdić, Elvira Hadžiahmetović Jurida

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION ON THE
ABUNDANCE OF THE *Culex pipiens* SPECIES 74

Дарко Зечевић, Драгојла Голуб

ЕКОЛОГИЈА И МОРФОЛОГИЈА ДВОПРУГАСТЕ УКЛИЈЕ

(*Alburnoides bipunctatus*) ИЗ РИЈЕКЕ ВРБАЊЕ

Darko Zečević, Dragojla Golub

ECOLOGY AND MORPHOLOGY OF SPIRLIN (*Alburnoides bipunctatus*)
FROM THE VRBANJA RIVER 76

Рајко Рољић, Катарина Грабеж, Анђела Сикимић, Маја Шибаревић,

Вера Николић

ПОПУЛАЦИОНО-ЕКОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ВРСТЕ

Austropotamobius torrentium У ПОТОКУ РАЈНЕРОВО ВРЕЛО

(БАЊ БРДО, БАЊА ЛУКА)

Rajko Roljić, Katarina Grabež, Anđela Sikimić, Maja Šibarević, Vera Nikolić

POPULATION AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE
STONE CRAYFISH *Austropotamobius torrentium* IN THE RAJNEROVO
VRELO STREAM (BANJ BRDO, BANJA LUKA) 78

Рајко Рољић, Анђела Сикимић, Катарина Грабеж, Маја Шибаревић,

Вера Николић

ПРОСТОРНА РАСПОДЈЕЛА АДУЛТА И КОКОНА *Branchiobdella* sp.

НА БЈЕЛОНОГОМ РАКУ *Austropotamobius pallipes* ИЗ РИЈЕКЕ ЗАЛОМКЕ:

ПРЕЛИМИНАРНИ НАЛАЗИ

Rajko Roljić, Anđela Sikimić, Katarina Grabež, Maja Šibarević, Vera Nikolić

SPATIAL DISTRIBUTION OF ADULTS AND COCOONS OF *Branchiobdella* sp.
ON THE WHITE-CLAWED CRAYFISH *Austropotamobius pallipes* FROM THE
ZALOMKA RIVER: PRELIMINARY REPORTS 80

ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ ENVIRONMENTAL PROTECTION

Душица Пешевић

ИЗАЗОВИ У СПРОВОЂЕЊУ ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ НА ЛОКАЛНОМ
НИВОУ И УТИЦАЈ НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Dušica Pešević

CHALLENGES IN IMPLEMENTING CIRCULAR ECONOMY AT THE LOCAL
LEVEL AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACT 84

Илхана Раиљанин Маџовић, Милана Пантелић

АЗОТНА ЈЕДИЊЕЊА КАО ПОКАЗАТЕЉИ ПРОМЕНА КВАЛИТЕТА
ВОДЕ РЕКЕ ДУНАВ ДУЖ ПОДУНАВСКОГ РЕГИОНА У СРБИЈИ

Ilhana Rašljanin Madžović, Milana Pantelić

NITROGEN COMPOUNDS AS INDICATORS OF WATER QUALITY
CHANGES IN THE DANUBE RIVER ALONG THE DANUBE REGION
IN SERBIA 86

Ивица Цветковић, Предраг Кузмановић

ОПТИМИЗАЦИЈА ЛОКАЦИЈЕ ФОТОНАПОНСКИХ СИСТЕМА У
БОСНИ И ХЕРЦЕГОВИНИ ПРИМЕНОМ SOLAR GLOBAL ATLAS
И RETScreen

Ivica Cvetković, Predrag Kuzmanović

OPTIMIZATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM LOCATION IN
BOSNIA AND HERZEGOVINA USING SOLAR GLOBAL ATLAS AND
RETScreen 88

ГЕОГРАФИЈА GEOGRAPHY

Татјана Попов, Слободан Гњато, Горан Трбић

ПРОМЈЕНЕ ИНСОЛАЦИЈЕ У БОСНИ И ХЕРЦЕГОВИНИ У ПЕРИОДУ
1961–2024. ГОДИНЕ

Tatjana Popov, Slobodan Gnjato, Goran Trbić

INSOLATION CHANGES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA IN THE
1961–2024 PERIODS 92

Стеван Савић, Јелена Декић, Горан Трбић, Даниела Арсеновић

РАЗВОЈ И ИНТЕНЗИТЕТ ИСТРАЖИВАЊА УРБАНЕ КЛИМЕ НА
ПРОСТОРУ ЗАПАДНОГ БАЛКАНА

Stevan Savić, Jelena Dekić, Goran Trbić, Daniela Arsenović

DEVELOPMENT AND INTENSITY OF URBAN CLIMATE RESEARCH
IN THE WESTERN BALKANS 94

<i>Тијана Радосављевић, Слађана Поповић, Љепосава Плакаловић</i> ПРИМЕНА КВАНТИТАТИВНИХ И ГИС МЕТОДА У ИСТРАЖИВАЊУ УРБАНОГ ОСТРВА ТОПЛОТЕ БЕОГРАДА (1954–2024)	96
<i>Tijana Radosavljević, Slađana Popović, Ljeposava Plakalović</i> APPLICATION OF QUANTITATIVE AND GIS METHODS IN THE STUDY OF THE URBAN HEAT ISLAND OF BELGRADE (1954–2024)	96
<i>Станимир Живановић, Милена Гоцић, Милена Ристић</i> ПОЈАВА И ТРАЈАЊЕ СУШНИХ ПЕРИОДА КАО ДЕТЕРМИНАНТИ РИЗИКА ОД ШУМСКИХ ПОЖАРА: ПРИМЕР ИСТОЧНЕ СРБИЈЕ	98
<i>Stanimir Živanović, Milena Gocić, Milena Ristić</i> DRY PERIOD TIMING AND DURATION AS DETERMINANTS OF FOREST FIRE RISK: EVIDENCE FROM EASTERN SERBIA	98
<i>Јелена Живковић</i> ЗЕМЉИШНИ ПОКРИВАЧ У ФУНКЦИЈИ ПОЉОПРИВРЕДНЕ ПРОИЗВОДЊЕ. СТУДИЈА СЛУЧАЈА: ШЉИВОВИЧКА ПЛАНИНА СА ПОДГОРИНОМ У ИСТОЧНОЈ СРБИЈИ	100
<i>Jelena Živković</i> SOIL COVER AND AGRICULTURAL LAND USE. A CASE STUDY: ŠLJIVOVIČKA PLANINA MOUNTAIN AND ITS FOOTHILL IN EASTERN SERBIA	100
<i>Емина Кричковић, Тин Лукић, Анастасија Стојшић Милосављевић, Зоран Кричковић</i> ГЕОГРАФСКО-МЕДИЦИНСКИ ПРИКАЗ АКУТНЕ РЕУМАТСКЕ ГРОЗНИЦЕ: СТУДИЈА СЛУЧАЈА ПАЦИЈЕНАТА ИНСТИТУТА ЗА КАРДИОВАСКУЛАРНЕ БОЛЕСТИ ВОЈВОДИНА	102
<i>Emina Kričković, Tin Lukić, Anastazija Stojišić Milosavljević, Zoran Kričković</i> GEOGRAPHICAL-MEDICAL OVERVIEW OF ACUTE RHEUMATIC FEVER: A CASE STUDY OF PATIENTS TREATED AT THE INSTITUTE OF CARDIOVASCULAR DISEASES OF VOJVODINA	102
<i>Даница Шантић</i> ПРОСТОРНО-ДЕМОГРАФСКА ДИСТРИБУЦИЈА СТРАНЕ РАДНЕ СНАГЕ У СРБИЈИ	104
<i>Danica Šantić</i> SPATIAL-DEMOGRAPHIC DISTRIBUTION OF FOREIGN LABOUR IN SERBIA	104
<i>Драшко Маринковић</i> ДЕМОГРАФСКА ОДРЖИВОСТ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ И УЛОГА МЛАДИХ	106
<i>Draško Marinković</i> DEMOGRAPHIC SUSTAINABILITY OF THE REPUBLIC OF SRPSKA AND THE ROLE OF YOUNG PEOPLE	106

<i>Марко Седлак, Немања Јосифов, Владимир Малинић</i> ПРОБЛЕМИ ДЕМОГРАФСКОГ РАЗВОЈА ГРАНИЧНИХ И ПЕРИУРБАНИХ НАСЕЉА ПИРОТСКЕ ОБЛАСТИ <i>Marko Sedlak, Nemanja Josifov, Vladimir Malinić</i> PROBLEMS OF DEMOGRAPHIC DEVELOPMENT OF THE BORDER AND PERI-URBAN SETTLEMENTS OF THE PIROT REGION	107
<i>Радослав Ранковић, Слађана Поповић</i> РЕГИОНАЛНЕ ДЕМОГРАФСКЕ ДИСПРОПОРЦИЈЕ: ПРИМЕР ОДАБРАНИХ ПОГРАНИЧНИХ И УНУТРАШЊИХ ЈЕДИНИЦА ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ У СРБИЈИ <i>Radoslav Ranković, Slađana Popović</i> REGIONAL DEMOGRAPHIC DISPROPORTIONS: AN EXAMPLE OF SELECTED BORDER AND INTERIOR LOCAL SELF-GOVERNMENT UNITS IN SERBIA	110
<i>Драгана Видић</i> СИСТЕМ ПРИХВАТА ДРЖАВЉАНА БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ НА ОСНОВУ СПОРАЗУМА О РЕАДМИСИЈИ <i>Dragana Vidić</i> THE RECEPTION SYSTEM OF THE BOSNIA AND HERZEGOVINA CITIZENS WHO RETURN UNDER READMISSION AGREEMENTS	111
<i>Мира Мандић, Драгица Делић</i> ФЕНОМЕН „СКУПЉАЊА“ ГРАДОВА – ТРАНЗИЦИЈА УРБАНОГ СИСТЕМА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ – УЗРОЦИ И ПОСЉЕДИЦЕ <i>Mira Mandić, Dragica Delić</i> THE PHENOMENON OF “SHRINKING” CITIES – TRANSITION OF THE URBAN SYSTEM OF THE REPUBLIC OF SRPSKA – CAUSES AND CONSEQUENCES	113
<i>Тања Мишлицки Томић, Вукосава Чолић</i> УЛОГА КЛИМАТСКИХ И ЕКОЛОШКО-ПЕЈЗАЖНИХ ФАКТОРА У ОДРЖИВОМ ТУРИСТИЧКОМ РАЗВОЈУ СПОМЕНИКА ПРИРОДЕ „ЦВРЦКА“ <i>Tanja Mišlicki Tomić, Vukosava Čolić</i> THE ROLE OF CLIMATIC AND ECO-LANDSCAPE FACTORS IN SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT OF THE “CVRСКА” NATURE MONUMENT	115
<i>Јелена Миланковић, Анђелија Ивков Џигурски, Драгана Вуковић Војновић, Весна Булатовић</i> ФОЛКЛОРНО НАСЛЕЂЕ ЦРНОГОРСКЕ ЕТНИЧКЕ ЗАЈЕДНИЦЕ КАО ПОТЕНЦИЈАЛ ТУРИСТИЧКЕ ПОНУДЕ ВОЈВОДИНЕ	

<i>Jelena Milanković, Anđelija Ivkov Džigurski, Dragana Vuković Vojnović, Vesna Bulatović</i>	
FOLKLORE HERITAGE OF THE MONTENEGRIN COMMUNITY AS A TOURISM RESOURCE IN VOJVODINA	117

<i>Светлана Милошевић Крејић</i>	
КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА РАЗВОЈА ТУРИЗМА ГРАДА БАЊА ЛУКА НЕКАД И САД	
<i>Svetlana Milošević Krejić</i>	
COMPARATIVE ANALYSIS OF TOURISM DEVELOPMENT IN THE CITY OF BANJA LUKA – PAST AND PRESENT	119

<i>Вања Мирјана Вујић, Игор Зекановић</i>	
ПРИРОДНИ ПОТЕНЦИЈАЛИ КАО ГЕОПОЛИТИЧКА КАТЕГОРИЈА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ	
<i>Vanja Mirjana Vujić, Igor Zekanović</i>	
NATURAL POTENTIAL AS A GEOPOLITICAL CATEGORY OF THE REPUBLIC OF SRPSKA	121

<i>Горан Мутабџија</i>	
РЕПУБЛИКА СРПСКА: ИЗМЕЂУ „ДЕБЕЛИХ И ТАНКИХ“ РЕГИОНАЛНИХ ИДЕНТИТЕТА	
<i>Goran Mutabdžija</i>	
THE REPUBLIC OF SRPSKA: BETWEEN “THICK” AND “THIN” REGIONAL IDENTITIES	123

<i>Милка Грмуша</i>	
БУДУЋНОСТ ГЕОГРАФИЈЕ У ОБРАЗОВНОМ СИСТЕМУ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ КРОЗ ПРИЗМУ РАЗЛИЧИТИХ ОБРАЗОВНИХ ТРАДИЦИЈА	
<i>Milka Grmuša</i>	
THE FUTURE OF GEOGRAPHY IN THE EDUCATIONAL SYSTEM OF THE REPUBLIC OF SRPSKA THROUGH THE LENS OF DIFFERENT EDUCATIONAL TRADITIONS	126

ПРОСТОРНО ПЛАНИРАЊЕ SPATIAL PLANNING

<i>Неда Живак</i>	
ОСВРТ НА ТРИ ДЕЦЕНИЈЕ ПРОСТОРНОГ ПЛАНИРАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ: ИЗМЕЂУ ОЧЕКИВАЊА, ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ И ПРОСТОРНЕ СТВАРНОСТИ	

Neda Živak

THREE DECADES OF SPATIAL PLANNING IN THE REPUBLIC OF
SRPSKA: BETWEEN EXPECTATIONS, IMPLEMENTATION, AND
SPATIAL REALITY 130

*Велимир Шећеров, Дејан Филиповић, Марија Јефтић, Бранко Протић,
Љубица Душков*

НОВИ МОДЕЛ МЕРЕЊА СТЕПЕНА РАЗВИЈЕНОСТИ ЈЕДИНИЦА
ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ У СРБИЈИ – ПРОСТОРНО-ДЕМОГРАФСКА
И ЕКОЛОШКА АНАЛИЗА
*Velimir Šećerov, Dejan Filipović, Marija Jević, Branko Protić,
Ljubica Duškov*
A NEW MODEL FOR ASSESSING THE LEVEL OF DEVELOPMENT OF
LOCAL SELF-GOVERNMENT UNITS IN SERBIA: A SPATIAL-DEMOGRAPHIC
AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS 132

Марко Калаба

УЧЕШЋЕ ГРАЂАНА У ЕВРОПСКИМ СИСТЕМИМА ПРОСТОРНОГ
ПЛАНИРАЊА: АНАЛИЗА ESPON COMPASS СТУДИЈЕ
Marko Kalaba
CITIZEN PARTICIPATION IN EUROPEAN SPATIAL PLANNING
SYSTEMS: AN ANALYSIS OF THE ESPON COMPASS STUDY 133

*Тијана Томић, Јасмина Ђорђевић, Немања Томић, Бојана Пјановић,
Дајана Ашћерић, Емилија Станишић*

ПРИМЕНА ИНДЕКСА МОГУЋНОСТИ ПЕШАЧЕЊА И ВОЖЊЕ
БИЦИКЛА У ПЛАНИРАЊУ РАЗВОЈА ГРАДОВА
*Tijana Tomić, Jasmina Đorđević, Nemanja Tomić, Bojana Pjanović,
Dajana Aščerić, Emilija Stanišić*
WALKABILITY AND BIKEABILITY INDEX IN URBAN PLANNING 134

Милица Лукић Петровић

УЛОГА БИОКЛИМАТСКИХ ПОКАЗАТЕЉА И МОНИТОРИНГА
МИКРОКЛИМАТСКИХ УСЛОВА У УСПОСТАВЉАЊУ КЛИМАТСКИ
СВЕСНОГ УРБАНОГ ПЛАНИРАЊА
Milica Lukić Petrović
THE ROLE OF BIOCLIMATIC INDICATORS AND MONITORING
OF MICROCLIMATIC CONDITIONS IN ESTABLISHING
CLIMATE-CONSCIOUS URBAN PLANNING 136

Мортеза Голамзаде

УРБАНА ОТПОРНОСТ И КВАЛИТЕТ ЖИВОТА ПОД КЛИМАТСКИМ
СТРЕСОМ: УВИДИ ИЗ МАШХАДА, ИРАН
Morteza Gholamzadeh
URBAN RESILIENCE AND LIVABILITY UNDER CLIMATE STRESS:
INSIGHTS FROM MASHHAD, IRAN 138

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА MATHEMATICS AND INFORMATICS

Небојша Ђурић

ОТВОРЕНИ ПРОБЛЕМИ У ИНВЕРЗНОЈ СПЕКТРАЛНОЈ ТЕОРИЈИ

Nebojša Đurić

OPEN PROBLEMS IN INVERSE SPECTRAL THEORY 142

Ирма Ибришимовић, Јулија Шћекић, Дамир Бајрић

ОПТИМИЗАЦИЈА ЛАНАЦА СНАБДИЈЕВАЊА ЕНЕРГЕНТИМА
ПРИМЈЕНОМ ЛИНЕАРНИХ ДИОФАНТСКИХ ФАЗИ ПЛАНАРНИХ
ГРАФОВА У УСЛОВИМА ТРЖИШНЕ НЕСТАБИЛНОСТИ

Irma Ibrišimović, Julija Šćekić, Damir Bajrić

OPTIMIZATION OF ENERGY SUPPLY CHAINS USING LINEAR
DIOPHANTINE FUZZY PLANAR GRAPHS UNDER CONDITIONS
OF MARKET INSTABILITY 144

Лука Маслењак

ХИБРИДНИ VNS И ТЕЖИНСКИ DANCING LINKS ПРИСТУП
ЗА ПРОБЛЕМ КОМПЛЕТИРАЊА ТЕЖИНСКИХ ЛАТИНСКИХ
КВАДРАТА

Luka Maslenjak

A HYBRID VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH AND WEIGHTED
DANCING LINKS APPROACH TO THE WEIGHTED LATIN SQUARE
COMPLETION PROBLEM 146

Ивана Милутиновић, Немања Милошевић

ЕВАЛУАЦИЈА САМОНАДГЛЕДАНОГ ПРИСТУПА И ДУБОКИХ
КОНВОЛУЦИОНИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА ЗА ПРОЦЕНУ
КВАЛИТЕТА ЉУДСКИХ ЕМБРИОНА

Ivana Milutinović, Nemanja Milošević

EVALUATION OF SELF SUPERVISED LEARNING AND DEEP
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR HUMAN EMBRYO
QUALITY ASSESSMENT 149

Стефан Поповић, Соња Ђукић Поповић

ПРИМЕНА МАРКОВЉЕВИХ ПРОЦЕСА У МОДЕЛОВАЊУ САРАДЊЕ
МУЛТИАГЕНТСКИХ AI СИСТЕМА

Stefan Popović, Sonja Đukić Popović

APPLICATION OF MARKOV PROCESSES IN MODELING
COOPERATION IN MULTI-AGENT AI SYSTEMS 151

Самра Садиковић Хајрић, Селма Караходџић

НЕКА СВОЈСТВА ЦЕСАРО СРЕДИНА ФУРИЈЕ–ЈАКОБИЈЕВОГ РЕДА

Samra Sadiković Hajrić, Selma Karahodžić

SOME PROPERTIES OF THE CESÀRO MEANS FOR FOURIER-JACOBI SERIES 153

Тијана Талић, Дејан Јанковић

КВАНТНИ АЛГОРИТМИ У КРИПТОАНАЛИЗИ

Tijana Talić, Dejan Janковић

QUANTUM ALGORITHMS IN CRYPTOANALYSIS 154

Марина Тошић

УОПШТЕНЕ ИНВЕРЗИЈЕ ЛИНЕАРНИХ КОМБИНАЦИЈА

МУР–ПЕНРОЗОВИХ ХЕРМИТСКИХ МАТРИЦА СА ИЛУСТРАТИВНИМ

ПРИМЈЕРИМА

Marina Tošić

GENERALIZED INVERSES OF LINEAR COMBINATIONS OF

MOORE–PENROSE HERMITIAN MATRICES WITH ILLUSTRATIVE

EXAMPLES 156

Анил Тунч

АПРОКСИМАЦИЈА ПЛАТОНОВИХ ТИЈЕЛА РАЗЛОМЦИМА

ЗЛАТНОГ ПРЕСЈЕКА: ЦЈЕЛОБРОЈНЕ ВРИЈЕДНОСТИ k И

ЊИХОВО ГЕОМЕТРИЈСКО ПОРИЈЕКЛО

Anil Tunç

APPROXIMATION OF PLATONIC SOLIDS TO GOLDEN

RATIO FRACTIONS: INTEGER k VALUES AND THEIR

GEOMETRIC ORIGINS 158

Димитрије Д. Чвокић

ТЕОЛОШКА ПРИСТРАСНОСТ ВЕЛИКИХ ЈЕЗИЧКИХ МОДЕЛА

У ПИТАЊИМА ПОМИРЕЊА: СТУДИЈА ЗАСНОВАНА НА ПОБУДАМА

ОСЈЕТЉИВИМ ИЗ УГЛА ПРАВОСЛАВНОГ ХРИШЋАНАСТВА

Dimitrije D. Čvokić

THEOLOGICAL RECONCILIATION BIAS IN LARGE LANGUAGE

MODELS: AN ORTHODOX CHRISTIAN SENSITIVE PROMPT-BASED

STUDY 160

ФИЗИКА

PHYSICS

Игор Мандић, Душан И. Илић, Стево К. Јаћимовски, Јован П. Шетрајчић

ФОНОНИ У САВРЕМЕНОЈ НАУЦИ МАТЕРИЈАЛА

Igor Mandić, Dušan I. Ilić, Stevo K. Jaćimovski, Jovan P. Šetrajčić

PHONONS IN CONTEMPORARY MATERIALS SCIENCE 164

Оља Ђорђевић

ЕНЕРГЕТСКИ ЗАВИСАН ПРЕЛАЗ У СТРУКТУРИ ДВОЧЕСТИЧНИХ

КОРЕЛАЦИЈА ГАМА-БЉЕСКОВА ЗАБИЉЕЖЕНИХ ТЕЛЕСКОПОМ

FERMI LARGE AREA TELESCOPE

<i>Olja Đorđić</i> ENERGY-DEPENDENT TRANSITION IN TWO-PARTICLE CORRELATION STRUCTURE OF FERMI LARGE AREA TELESCOPE GAMMA-RAY BURSTS	165
<i>Оља Ђорђевић</i> ЗАВИСНОСТ ФУРИЈЕОВИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА ОД ВЕЛИЧИНЕ СИСТЕМА И МУЛТИПЛИЦИТЕТА У pp И pPb СУДАРИМА <i>Olja Đorđić</i> SYSTEM-SIZE AND MULTIPLICITY DEPENDENCE OF FOURIER COEFFICIENTS IN pp AND pPb COLLISIONS	167
<i>Сњежана Дупљанин, Оливера Шашић, Зоран Љ. Петровић, Драгољуб Мирјанић</i> ПРЕГЛЕД ЕФЕКТИВНИХ ПРЕСЈЕКА ЗА РАСИЈАЊЕ ЕЛЕКТРОНА У ГАСОВИМА СТАКЛЕНЕ БАШТЕ <i>Snježana Dupljanin, Olivera Šašić, Zoran Lj Petrović, Dragoljub Mirjanić</i> REVIEW OF ELECTRON SCATTERING CROSS SECTIONS IN GREENHOUSE GASES	169
<i>Сандра Торбица, Зоран П. Поповић</i> ТОПОЛОШКЕ ФАЗНЕ ПРОМЈЕНЕ У ДЕФОРМИСАНИМ УГЉЕНИЧНИМ НАНОТУБАМА <i>Sandra Torbica, Zoran P. Popović</i> TOPOLOGICAL PHASE TRANSITIONS IN DEFORMED CARBON NANOTUBES	171
<i>Душанка Марчетић, Бојан Ковачевић, Дијана Ђукић, Жељка Остојић, Драгољуб Мирјанић</i> АНАЛИЗА СОЛАРНЕ ИРАДИЈАЦИЈЕ И ПРОЦЈЕНА ПРОИЗВОДЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ: СТУДИЈА СЛУЧАЈА НА ПРИРОДНО- МАТЕМАТИЧКОМ ФАКУЛТЕТУ У БАЊОЈ ЛУЦИ <i>Dušanika Marčetić, Bojan Kovačević, Dijana Đukić, Željka Ostojić, Dragoljub Mirjanić</i> ANALYSIS OF SOLAR IRRADIATION AND ASSESSMENT OF ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION: A CASE STUDY AT THE FACULTY OF NATURAL SCIENCES AND MATHEMATICS IN BANJA LUKA	173
<i>Зорана Илић, Алфред Видић, Ирма Дидовић, Дин Авдиспахић</i> ПРИРОДНИ РАДИОНУКЛИДИ (U^{234} , U^{238} И Ra^{226}) У ВОДИ ЗА ПИЋЕ, РИЈЕЧНИМ И ПРИОБАЛНИМ ВОДАМА У БОСНИ И ХЕРЦЕГОВИНИ (2022–2025) <i>Zorana Ilić, Alfred Vidic, Irma Didović, Din Avdispahić</i> NATURAL RADIONUCLIDES (U^{234} , U^{238} AND Ra^{226}) IN DRINKING, RIVER AND COASTAL WATERS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA (2022–2025)	175

<i>Предраг Кузмановић, Душан Мрђа, Јована Кнежевић Радић</i> РАДИОАКТИВНОСТ КАОЛИНИЗИРАНИХ ГРАНИТА У СРБИЈИ И РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ	
<i>Predrag Kuzmanović, Dušan Mrđa, Jovana Knežević Radić</i> RADIOACTIVITY OF KAOLINIZED GRANITE IN SERBIA AND THE REPUBLIC OF SRPSKA	177
<i>Драгана Маливук Гак, Сњежана Дупљанин, Бојан Ковачевић, Татјана Марић</i> ЗНАЧАЈ ЕКСПЕРИМЕНТА У НАСТАВИ ФИЗИКЕ: АНАЛИЗА СТАВОВА УЧЕНИКА И ЕФЕКТА ПРАКТИЧНОГ РАДА	
<i>Dragana Malivuk Gak, Snježana Dupljanin, Bojan Kovačević, Tatjana Marić</i> THE IMPORTANCE OF EXPERIMENTS IN PHYSICS TEACHING: ANALYSIS OF STUDENTS' ATTITUDES AND THE EFFECTS OF PRACTICAL WORK	179
<i>Стефан Ковачевић, Слободан Срдић, Милена Дамјановић</i> УЛОГА ВАННАСТАВНИХ STEAM АКТИВНОСТИ У РАЗВОЈУ ИНТЕРЕСОВАЊА УЧЕНИКА ЗА ПРИРОДНЕ НАУКЕ	
<i>Stefan Kovačević, Slobodan Srdić, Milena Damjanović</i> THE ROLE OF EXTRACURRICULAR STEAM ACTIVITIES IN DEVELOPING STUDENTS' INTEREST IN NATURAL SCIENCES	181
<i>Александар Ћургуз</i> ОД МОДЕЛА КВАРКОВА ДО СУПЕРСИМЕТРИЈЕ – ШТА СМО НАУЧИЛИ?	
<i>Aleksandar Ćurguz</i> FROM THE QUARK MODEL TO SUPERSYMMETRY – WHAT DID WE LEARN?	183

ХЕМИЈА CHEMISTRY

<i>Ајдин Мујезин, Атифа Ајановић, Маја Казазић, Исмет Тахировић</i> ИНСУЛИНСКА РЕЗИСТЕНЦИЈА: ПРИСТУПИ ИНДУКЦИЈИ И ОДАБРАНЕ МЕТОДЕ И ИНДЕКСИ ЗА ПРОЦЈЕНУ	
<i>Ajdin Mujezin, Atifa Ajanović, Maja Kazazić, Ismet Tahirović</i> INSULIN RESISTANCE: INDUCTION APPROACHES AND SELECTED METHODS AND INDICES FOR ASSESSMENT	186
<i>Катарина Постоловић, Зорка Станић</i> ВОЛТАМЕТРИЈСКО ОДРЕЂИВАЊЕ ТРИПТОФАНА ПРИМЕНОМ СТАКЛАСТОГ УГЉЕНИКА МОДИФИКОВАНОГ ХИТОЗАНОМ И ГРАФЕН ОКСИДОМ	

<i>Katarina Postolović, Zorka Stanić</i> VOLTAMMETRIC DETERMINATION OF TRYPTOPHAN USING GLASSY CARBON ELECTRODE MODIFIED WITH CHITOSAN AND GRAPHENE OXIDE	188
<i>Дијана Алексић, Леа Малешевић, Гордана Гојгић-Цвијовић, Милена Рашета</i> FTIR АНАЛИЗА ПОЛИСАХАРИДНЕ ФРАКЦИЈЕ <i>Cyclocybe aegerita</i> (V. Brig.) Vizzini 2014 <i>Dijana Aleksić, Lea Malešević, Gordana Gojgić-Cvijović, Milena Rašeta</i> FTIR ANALYSIS OF POLYSACCHARIDE FRACTION OF <i>Cyclocybe</i> <i>aegerita</i> (V. Brig.) Vizzini 2014	191
<i>Бојана Пантовић, Дарко Ашанин, Ненад Драшковић, Милош Ђуран,</i> <i>Биљана Глишић</i> СИНТЕЗА И СТРУКТУРНА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ХРОМ(III) КОМПЛЕКСА СА 2-ХИДРОКСИ-1,3-ПРОПАНДИАМИН-N,N,N',N'- ТЕТРААЦЕТАТОМ <i>Bojana Pantović, Darko Ašanin, Nenad Drašković, Miloš Đuran,</i> <i>Biljana Glišić</i> SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF A CHROMIUM(III) COMPLEX WITH 2-HYDROXY-1,3-PROPANEDIAMINE- N,N,N',N'-TETRAACETATE	192
<i>Јелена Тимарац-Поповић, Јоханес Хизбергер, Елдира Шесто,</i> <i>Никлас Луман, Аријана Гизригл, Хајрудин Бешић, Жозијан П. Лафлер,</i> <i>Силван Шмид</i> ФОТОТЕРМАЛНА NEMS-FTIR СПЕКТРОСКОПИЈА ЗА ХЕМИЈСКУ ИДЕНТИФИКАЦИЈУ МИКРО- И НАНОПЛАСТИКЕ <i>Jelena Timarac-Popović, Johannes Hiesberger, Eldira Šesto, Niklas Luhmann,</i> <i>Ariane Giesriegl, Hajrudin Bešić, Josiane P. Lafleur, Silvan Schmid</i> PHOTOTHERMAL NEMS-FTIR SPECTROSCOPY FOR CHEMICAL IDENTIFICATION OF MICRO- AND NANOPLASTICS	195
<i>Невена Стевановић, Јакоб Кљун, Биљана Глишић</i> СИНТЕЗА И СТРУКТУРНА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА СРЕБРО(I) КОМПЛЕКСА СА 1-ФЕНИЛИМИДАЗОЛОМ <i>Nevena Stevanović, Jakob Kljun, Biljana Glišić</i> SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF A SILVER(I) COMPLEX WITH 1-PHENYLIMIDAZOLE	197
<i>Дин Авдиспахић, Сабина Бегвић</i> СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА Fe(III) КОМПЛЕКСА СА ШИФОВИМ БАЗАМА ДОБИЈЕНИМ ИЗ СУПСТИТУИСАНИХ БЕНЗАЛДЕХИДА И 3-АМИНОФЕНОЛА	

Din Avdispahić, Sabina Begić

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF Fe(III) COMPLEXES
WITH SCHIFF BASE LIGANDS DERIVED FROM SUBSTITUTED
BENZALDEHYDES AND 3-AMINOPHENOL 200

Маријана С. Регејевић, Љиљана С. Војиновић Јешић, Марко В. Родић,

Мирјана М. Радановић

ПОЛИМЕРНИ КОМПЛЕКС ЖИВЕ(II) СА ШИФОВОМ БАЗОМ:
СИНТЕЗА И СТРУКТУРНА АНАЛИЗА

Marijana S. Regojević, Ljiljana S. Vojinović Ješić, Marko V. Rodić,

Mirjana M. Radanović

POLYMERIC MERCURY(II) COMPLEX WITH A SCHIFF BASE:
SYNTHESIS AND STRUCTURAL ANALYSIS 202

Тина Андрејевић, Јакоб Кљун, Биљана Глишић, Изток Турел,

Милош Ђуран

КРИСТАЛОГРАФСКА И СПЕКТРОСКОПСКА АНАЛИЗА
КОМПЛЕКСА ЗЛАТА(III) СА 4-(2-АМИНОЕТИЛ)ПИРИДИНОМ

Tina Andrejević, Jakob Kljun, Biljana Glišić, Iztok Turel,

Miloš Djuran

CRYSTALLOGRAPHIC AND SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF A
GOLD(III) COMPLEX WITH 4-(2-AMINOETHYL)PYRIDINE 204

Дијана Јелић, Драгана Гајић, Саша Зељковић, Драгољуб Мирјанић,

Славко Ментус

КИНЕТИЧКА СТУДИЈА РЕДУКЦИЈЕ НИКЛ(II)-ОКСИДА У
АТМОСФЕРИ ВОДОНИКА

Dijana Jelić, Dragana Gajić, Saša Zeljković, Dragoljub Mirjanić,

Slavko Mentus

KINETIC STUDY OF NICKEL(II) OXIDE REDUCTION IN A
HYDROGEN ATMOSPHERE 206

Оливера Керезовић, Љиљана Танкосић, Елвир Бабајић, Анджеј

Бјесикирски, Анджеј Базјак, Бартош Хандке, Сузана Готовац Атлагић

ПОТЕНЦИЈАЛ ЗА ВАЛОРИЗАЦИЈУ РИМСКЕ ТРОСКЕ ИЗ
ПРОЦЕСА ПРЕРАДЕ ЖЕЉЕЗНЕ РУДЕ У БОСНИ И
ХЕРЦЕГОВИНИ

Olivera Kerezović, Ljiljana Tankosić, Elvir Babajić, Andrzej Biessikirski,

Andrzej Baziak, Bartoš Handkey, Suzana Gotovac Atlagić

POTENTIAL FOR VALORIZATION OF THE ROMAN SLAG
FROM THE IRON ORE PROCESSING IN BOSNIA AND
HERZEGOVINA 208

Сања Пржуљ, Горица Веселиновић, Сања Стојадиновић, Милица Кашанин-Грубин, Милица Балабан, Дејана Савић, Бранимир Јованчићевић ПРОЦЕНА СТЕПЕНА ЗАГАЂЕЊА И ПОРИЈЕКЛА ПОТЕНЦИЈАЛНО ТОКСИЧНИХ МЕТАЛА У СЕДИМЕНТИМА РИЈЕКЕ ВРБАС <i>Sanja Pržulj, Gorica Veselinović, Sanja Stojadinović, Milica Kašanin-Grubin, Milica Balaban, Dejana Savić, Branimir Jovančičević</i> ASSESSMENT OF DEGREE CONTAMINATION AND ORIGIN OF POTENTIALLY TOXIC METALS IN SEDIMENTS OF THE VRBAS RIVER	210
Наташа Дудуковић, Анита Леовац Маћерак, Наташа Слијепчевић, Драгана Жмукић, Ђурђа Керкез УКЛАЊАЊЕ ОРГАНСКЕ МАТЕРИЈЕ ТОКОМ ЕЛЕКТРОПРЕЦИПИТАЦИЈЕ СТРУВИТА <i>Nataša Duduković, Anita Leovac Maćerak, Nataša Slijepčević, Dragana Žmukić, Đurđa Kerkez</i> ORGANIC MATTER REMOVAL DURING STRUVITE ELECTROPRECIPITATION	212
Драгана Жмукић, Ђурђа Керкез, Наташа Дудуковић, Анита Леовац Маћерак УПОТРЕБА ЛИМУНСКЕ КИСЕЛИНЕ У ЦИЉУ ПОСПЈЕШЕЊА АНАЕРОБНЕ ДИГЕСТИЈЕ И КВАЛИТЕТА ДИГЕСТАТА <i>Dragana Žmukić, Đurđa Kerkez, Nataša Duduković, Anita Leovac Maćerak</i> USE OF CITRIC ACID TO IMPROVE ANAEROBIC DIGESTION AND DIGESTATE QUALITY	214
Мила Костић, Јелена Филиповић Тричковић, Маријана Јанић, Ксенија Радосевић, Татјана Момић, Милош Тошић, Ана Валента Шобот ПРОЦЕНА ЦИТОТОКСИЧНОГ И ГЕНОТОКСИЧНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА БУТИЛОВАНОГ ХИДРОКСИАНИЗОЛА IN VITRO <i>Mila Kostić, Jelena Filipović Tričković, Marijana Janić, Ksenija Radošević, Tatjana Momić, Miloš Tošić, Ana Valenta Šobot</i> ASSESSMENT OF THE CYTOTOXIC AND GENOTOXIC POTENTIAL OF BUTYLATED HYDROXYANISOLE IN VITRO	216
Маријана Јанић, Мила Костић, Ксенија Радосевић, Ана Валента Шобот, Татјана Момић, Јелена Филиповић Тричковић УТИЦАЈ ВРЕМЕНА ЕКСТРАКЦИЈЕ НА ФИТОХЕМИЈСКИ СКРИНИНГ И АНТИОКСИДАТИВНУ АКТИВНОСТ ЖАЛФИЈЕ ПРИМЕНОМ ДУБОКИХ ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА <i>Marijana Janić, Mila Kostić, Ksenija Radošević, Ana Valenta Šobot, Tatjana Momić, Jelena Filipović Tričković</i> IMPACT OF EXTRACTION TIME ON PHYTOCHEMICAL SCREENING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SAGE USING DEEP EUTECTIC SOLVENT	218

Ксенија Радошевић, Мила Костић, Маријана Јанић, Милош Тошић, Снежана Брковић, Ана Валента Шобот, Јелена Филиповић Тричковић
ЗЕЛЕНИ ДУБОКИ ЕУТЕКТИЧКИ РАСТВОРАЧ НА БАЗИ
ХОЛИН-ХЛОРИДА И МАЛОНСКЕ КИСЕЛИНЕ: ОПТИМИЗАЦИЈА
СИНТЕЗЕ И ПРОЦЕНА ЦИТОТОКСИЧНОСТИ

Ksenija Radošević, Mila Kostić, Marijana Janić, Miloš Tošić, Snežana Brković, Ana Valenta Šobot, Jelena Filipović Tričković

GREEN DEEP EUTECTIC SOLVENT BASED ON CHOLINE CHLORIDE
AND MALONIC ACID: SYNTHESIS OPTIMIZATION AND CYTOTOXIC
EVALUATION

221

Ђорђе Јанковић, Софија Бекић, Маја Мариновић, Марина Савић, Анђелка Ћелић, Edward Petri, Јована Ајдуковић

ДИЗАЈН, СИНТЕЗА И БИОЛОШКА ЕВАЛУАЦИЈА НОВИХ
АНДРОСТАНСКИХ ХИДРАЗОНО-ХИДРАЗИДНИХ ДЕРИВАТА
КАО ИНХИБИТОРА AKR1C3

Đorđe Janković, Sofija Bekić, Maja Marinović, Marina Savić, Anđelka Ćelić, Edward Petri, Jovana Ajduković

DESIGN, SYNTHESIS AND BIOLOGICAL EVALUATION OF NOVEL
ANDROSTANE HYDRAZONO-HYDRAZIDE DERIVATIVES AS AKR1C3
INHIBITORS

223

Душица Јовановић, Маја Шћепановић, Мирјана Грујић-Бројчин, Стеван Стојадиновић, Даниела Шојић Меркулов, Саболч Богнар, Нина Финчур

ИСПИТИВАЊЕ ФОТОКАТАЛИЗЕ ЦИПРОФЛОКСАЦИНА У
ПРИСУСТВУ MgAl ПРЕВЛАКА ДОПИРАНИХ СА ZnO И CeO₂

Dušica Jovanović, Maja Šćepanović, Mirjana Grujić-Brojčin, Stevan Stojadinović, Daniela Šojić Merkulov, Sabolč Bognar, Nina Finčur

EXPLORING THE PHOTOCATALYTIC FATE OF CIPROFLOXACIN
IN THE PRESENCE OF ZnO AND CeO₂-DOPED MgAl COATINGS

225

Теодора Видовић, Ивана Басарић, Немања Банић

УТИЦАЈ МАСЕНЕ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ Pd/TiO₂ ФОТОКАТАЛИЗАТОРА
НА ЕФИКАСНОСТ УКЛАЊАЊА ФЛУОРЕСЦЕИНА И ГЕНЕРИСАЊЕ
ВОДЕНИКА У ПРИСУСТВУ СИМУЛИРАНОГ СУНЧЕВОГ ЗРАЧЕЊА

Teodora Vidović, Ivana Basarić, Nemanja Banić

INFLUENCE OF THE MASS CONCENTRATION OF Pd/TiO₂
PHOTOCATALYST ON THE EFFICIENCY OF FLUORESCЕIN
REMOVAL AND HYDROGEN GENERATION UNDER SIMULATED
SOLAR RADIATION

227

Саболч Богнар, Весна Деспотовић, Нина Финчур, Душица Јовановић, Даниела Шојић Меркулов

УТИЦАЈ ФОТОКАТАЛИТИЧКИХ ФАКТОРА И ВОДЕНОГ
МАТРИКСА НА ЕФИКАСНОСТ УКЛАЊАЊА EE2 У ПРИСУСТВУ
ЗЕЛЕНИХ ZnO НАНОЧЕСТИЦА

<i>Szabolcs Bognár, Vesna Despotović, Nina Finčur, Dušica Jovanović, Daniela Šojić Merkulov</i>	
EFFECT OF OPERATING CONDITIONS AND WATER MATRIX ON EE2 PHOTOCATALYTIC DEGRADATION EFFICIENCY USING GREEN ZnO NANOPARTICLES	230

<i>Katarina Hainz, Szabolcs Bognár, Daniela Šojić Merkulov</i>	
УТИЦАЈ РАЗЛИЧИТИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ПАРАМЕТАРА НА ЕФИКАСНОСТ ФОТОКАТАЛИТИЧКЕ РАЗГРАДЊЕ ГЛИФОСАТА ПРИМЕНОМ НОВОСИНТЕТИСАНИХ ZnO НАНОЧЕСТИЦА	
<i>Katarina Hainz, Szabolcs Bognár, Daniela Šojić Merkulov</i>	
INFLUENCE OF DIFFERENT EXPERIMENTAL PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF GLYPHOSATE USING GREEN-SYNTHESIZED ZnO NANOPARTICLES	231

ПЛЕНАРНА СЕКЦИЈА
PLENARY SESSION

Изазови и проблеми српске националне географије

Рајко Гњато^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* gnjator@pmfbl.org

Централно питање српске националне географије тиче се предмета и с тим у вези задатака и циљева њеног истраживања. Имајући у виду глобалан географски простор као јединствену и условно диференцирану геопросторну форму као предмет проучавања географије као јединствене науке, и у исто вријеме као предмет проучавања географије као система релативно диференцираних географских наука, то се и предмет проучавања српске националне географије мора довести у везу са факторима који тај простор чине релативно диференцираним у оквиру глобалног географског простора, дајући му српско национално обиљежје. Свакао, овдје се намеће питање релевантних фактора који дефинишу српски национални простор и српски идентитет (етнотериторијалност, етнокултуралност, етнодржавност...). Историјска и савремена реалност свједоче да је српски етнички простор био и остао изложен разним цивилизацијским, културним и политичким утицајима, та да су у оквиру њега настајале, нестајале и поново настајале одређене државотворне форме као релевантан оквир развоја и опстанка српског националног бића. Како видимо, српска национална географија за предмет проучавања има српски етнички простор у историјској и савременој димензији, при чему се основни задаци истраживања тичу фактора и проблема етнокултурног, етнодемографског, просторно-функционалног и политичко-географског развоја, све у циљу развоја и очувања српског националног бића у одговарајућим развојним моделима.

Кључне ријечи: српска национална географија, српски национални простор, српски идентитет.

Challenges and Problems of Serbian National Geography

Rajko Gnjato^{1*}

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* gnjator@pmfbl.org

The central issue of Serbian national geography concerns the subject matter and, consequently, the tasks and objectives of its research. Considering the global geographical space as a unique and conditionally differentiated geospatial form – both as the subject of geography as a unified science and as the subject of geography understood as a system of relatively differentiated geographical sciences – the subject of Serbian national geography must also be related to the factors that make this space relatively differentiated within the global geographical space, giving it a Serbian national character. This raises the question of the relevant factors that define the Serbian national space and Serbian identity (ethno-territoriality, ethno-culturality,

ethno-statehood, etc.). Historical and contemporary realities testify that the Serbian ethnic space has been and remains exposed to various civilizational, cultural, and political influences, and that within it certain state-forming entities emerged, disappeared, and re-emerged as a relevant framework for the development and survival of the Serbian national being. As we can see, Serbian national geography studies the Serbian ethnic space in both its historical and contemporary dimensions, while the primary research tasks concern the factors and problems of ethno-cultural, ethno-demographic, spatial-functional, and political-geographical development, all with the aim of developing and preserving the Serbian national identity within appropriate development models.

Keywords: Serbian national geography, Serbian national space, Serbian identity.

Критички осврт на просторно планирање у Србији у првој четвртини 21. века

Дејан Ђорђевић^{1}*

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

* dejan.djordjevic@gef.bg.ac.rs

У првој четвртини 21. века систем просторног планирања у Србији доживео је значајну трансформацију пратећи опште трендове промена у земљи. Превладавање неолибералног – тржишног модела економије директно је условило потискивање социјалних услуга по квалитету и обиму финансирања, а слично се догодило и са еколошким сектором. У складу са новонасталом ситуацијом, донесен је нови Закон о планирању и изградњи, основана је Инжењерска комора Србије преко које су планери добили лиценце, формирана је Републичка агенција за просторно планирање, а простор Србије је у потпуности покривен просторним плановима свих врста, од националног до локалних планских докумената, поред осталих активности. Резултати изванредних напора професионалних планера и државне управе донекле су затамњени слабостима и пукотинама које су се појавиле у систему планирања – планови се раде пребрзо без потребних просторних анализа, запостављено је стратешко на рачун регулационог планирања, економски резони и политичка моћ диктирају садржај планских решења, знатно је редукован број и квалитет планерских фирми, закон о планирању је застарео, те можда најважнији чинилац, континуирано опада број уписаних и дипломираних просторних планера. У Републици Српској је стање, уз разумљиве разлике попут величине популације и укупне економске моћи, те институционалне блокаде, у великој мери слично. У раду су анализирани каузални односи који су довели до садашњег стања у планирању, дата систематизација до сада уочених позитивних и негативних трендова и појава у процесу планирања, те дискутована ефективност оваквог приступа области планирања и уређења простора у Србији, уколико се хитно не покрене тзв. нови плански циклус.

Кључне речи: просторно планирање, систем планирања, политичка моћ, Србија.

Spatial Planning in Serbia in the First Quarter of the 21st Century: A Critical Review

*Dejan Đorđević¹**

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

* dejan.djordjevic@gef.bg.ac.rs

In the first quarter of the 21st century, the spatial planning system in Serbia underwent a significant transformation, following the general trends of change in the country. The dominance of the neoliberal – market model of the economy directly conditioned the suppression of social services in terms of quality and scope of financing, and a similar thing happened with the environmental sector. In accordance with the newly created situation, a new Law on Planning and Construction was adopted, the Serbian Chamber of Engineers was established, through which planners obtained licenses, the Republic Agency for Spatial Planning was formed, and the territory of Serbia is fully covered by spatial plans of all types, from national to local planning documents, in addition to other activities. The results of the extraordinary efforts of professional planners and state administration are somewhat overshadowed by the weaknesses and cracks that have appeared in the planning system – plans are made too quickly without the necessary spatial analyses, strategic planning has been neglected at the expense of regulatory planning, economic considerations and political power dictate the content of planning solutions, the number and quality of planning firms has been significantly reduced, the planning law is outdated, and perhaps the most important factor, the number of registered and graduated spatial planners is continuously declining. In the Republic of Srpska, with understandable differences such as population size and overall economic power and institutional blockage, the situation is largely similar. The paper analyzes the causal relationships that led to the current state of planning, provides a systematization of the positive and negative trends and phenomena observed so far in the planning process, and discusses the effectiveness of this approach to the field of planning and spatial development in Serbia, unless the so-called new planning cycle is urgently launched.

Keywords: spatial planning, planning system, Serbia.

Нутријенти као епигенетички модулатори са утицајем на старење

**Данијела Којић^{1*}, Срђана Ђорђевић¹, Јелена Спремо¹,
Милица Раденковић¹, Елвира Вукашиновић¹, Тамјана Челић¹,
Иван Пихлер², Нада Плавша² и Јелена Пураћ¹**

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за биологију и екологију, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад, Србија

* danijela.kojic@dbe.uns.ac.rs

Епигенетика проучава стабилне и наследне промене у експресији гена које настају услед промена у структури хроматина, без измена у секвенци ДНК. Најзначајнији епигенетички механизми су метилација ДНК, метилација/ацетилација хистона и синтеза некодирајућих РНК. За разлику од генетичког кода, који је стабилан и идентичан у свим ћелијама, различите ћелије у организму имају специфичан сет епигенетичких модификација, тзв. „епигенетички код“, који регулише њихову диференцијацију, развој и одговор на окружење. На епигенетички код утичу различити фактори, а занимљиво је да старење, као један од њих, оставља карактеристичан образац промена познат као „епигенетички сат“, који омогућава процену биолошке старости. Иако је биолошка старост релативно стабилна и мерљива путем ових биомаркера, она одражава кумулативни ефекат генетичких и спољашњих фактора, те не мора увек одговарати хронолошкој старости. Као фактори који могу допринети успоравању биолошког старења поред осталих препознати су и специфични нутријенти, углавном мали биолошки активни молекули присутни у храни. Иако су сирове намирнице често богате овим молекулима, додатна ферментација их може обогатити, док их индустријска обрада често осиромашује. Истраживања на ову тему припадају релативно новој области, која је названа нутритивна епигенетика. Инсекти представљају погодне модел-организме за ова истраживања захваљујући лакој доступности и минималним етичким ограничењима, нарочито врсте са израженом фенотипском пластичношћу у погледу дужине живота. Наша истраживања усмерена су на испитивање утицаја специфичних нутријената на дужину живота и механизме њиховог деловања код медоносне пчеле као модел-организма. Поред изразите фенотипске пластичности у дужини живота (разлике између матице и радилица, као и зимских и летњих радилица), медоносна пчела има и економски и екофизиолошки значај, што додатно наглашава важност добијених резултата. До сада смо испитали утицај спермидина и Na-бутирата, а наши резултати указују на позитиван ефекат ових молекула. Наше истраживање је показало да спермидин, у уском опсегу концентрација, продужава животни век медоносне пчеле, вероватно путем епигенетички посредоване активације аутофагије. Такође, нaтријум-бутират, као инхибитор хистон-деацетилаза, испољава позитиван ефекат на дужину живота повећањем експресије фенол-оксидазе и антиоксидативног капацитета, делујући као имунолошки прајмер. Тренутна истраживања усмерена су на потенцијалну примену ових молекула као суплемената у пчеларској пракси. *Захвалница:* Овај рад је реализован уз финансијску подршку Покрајинског секретаријата за високо образовање и научноистраживачку делатност Аутономне Покрајине Војводине кроз пројекат „Набутират као суплемент у исхрани медоносне пчеле: утицај на одбрамбене механизме и преживљавање колонија“ (Уговор бр. 003861035 2025 09418 003 000 000 001 04 004), као и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (уговори бр. 451-03-33/2026-03/200125 и 451-03-34/2026-03/200125).

Кључне речи: нутритивна епигенетика, спермидин, Na-бутират, *Apis mellifera*.

Nutrients as Epigenetic Modulators with Impact on Aging

**Danijela Kojić^{1*}, Srđana Đorđević¹, Jelena Spremo¹,
Milica Radenković¹, Elvira Vukašinović¹, Tatjana Čelić¹,
Ivan Pihler², Nada Plavša² and Jelena Purać¹**

¹ University of Novi Sad, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology, Novi Sad, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia

* danijela.kojic@dbe.uns.ac.rs

Epigenetics studies stable and heritable changes in gene expression that occur due to alterations in chromatin structure, without changes in the DNA sequence. The most important epigenetic mechanisms are DNA methylation, histone methylation/acetylation, and the synthesis of non-coding RNAs. Unlike the genetic code, which is stable and identical in all cells, different cells in an organism possess a specific set of epigenetic modifications, the so-called “epigenetic code”, which regulates their differentiation, development, and response to the environment. The epigenetic code is influenced by various factors, and interestingly, aging, as one of them, leaves a characteristic pattern of changes known as the “epigenetic clock”, which allows estimation of biological age. Although biological age is relatively stable and measurable through these biomarkers, it reflects the cumulative effect of genetic and environmental factors and does not always correspond to chronological age. Specific nutrients, primarily small bioactive molecules present in food, have been recognized, among others, as factors that may contribute to slowing biological ageing. Raw foods are often rich in these molecules, fermentation can increase their content, but industrial processing frequently reduces it. Research in this area belongs to the relatively new field of nutritional epigenetics. Insects represent convenient model organisms for such studies due to their easy accessibility and minimal ethical constraints, particularly species with pronounced phenotypic plasticity regarding lifespan. Our research focuses on investigating the effects of specific nutrients on lifespan and their mechanisms of action using the honey bee as a model organism. In addition to the pronounced phenotypic plasticity in lifespan (differences between queens and workers, as well as between winter and summer workers), the honey bee has both economic and ecophysiological significance, further emphasizing the importance of the obtained results. So far, we have investigated the effects of spermidine and Na-butyrate, and our results indicate a positive impact of these molecules. Our research showed that spermidine, within a narrow concentration range, extends the lifespan of the honey bee, likely through epigenetically mediated activation of autophagy. Furthermore, sodium butyrate, as a histone deacetylase inhibitor, exerts a positive effect on lifespan by increasing phenoloxidase expression and antioxidant capacity, acting as an immune primer. Current research is focused on the potential application of these molecules as supplements in beekeeping practice. *Acknowledgements:* This study was financially supported by the Provincial Secretariat for Higher Education and Scientific Research of the Autonomous Province of Vojvodina under the project “Dietary Supplementation with Sodium Butyrate in the Honey Bee: Impacts on Defense Mechanisms and Colony Survival” (Contract No. 003861035 2025 09418 003 000 000 001 04 004), as well as by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grant Nos. 451-03-33/2026-03/200125 and 451-03-34/2026-03/200125).

Keywords: nutritional epigenetics, spermidine, Na-butyrate, *Apis mellifera*.

Биологија иза зидина Свете Горе: истраживање водоземаца и гмизаваца полуострва Атос – логистика, методе и теренска искуства

Растко Ајтић^{1*}

¹ Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, Институт за биологију и екологију, Крагујевац, Србија

* rastko.ajtic@pmf.kg.ac.rs

Полуострво Атос, познато као Света Гора, представља једно од најнеобичнијих и најизазовнијих места за биолошка истраживања у Европи. Иако је овај простор првенствено познат по својој духовној и културној вредности, његова изолованост и очуваност омогућиле су опстанак изузетно богате фауне водоземаца и гмизаваца. Управо због тога истраживање херпетофауне овог подручја има велики научни значај, али истовремено представља и озбиљан логистички и физички изазов за истраживаче. Једна од основних карактеристика теренског рада на Атосу јесте готово потпуно одсуство савремене путне инфраструктуре. Велики део полуострва нема могућност транспорта возилима, па се до истраживачких локалитета долази искључиво пешачењем. Теренски тимови свакодневно прелазе велике дистанце по каменитим стазама, кроз густе шуме, стрме клисуре и планинске превоје. Посебан изазов представља чињеница да се истраживања одвијају дуж изразитог висинског градијента – од самог нивоа мора, на свега неколико метара надморске висине, па све до врха планине Атос, који прелази 2000 метара. Таква разноврсност станишта омогућава присуство великог броја врста, али захтева и стално прилагођавање методологије рада различитим условима средине. Климатски услови додатно отежавају истраживања. Током летњих месеци температуре на осунчаним стеновитим површинама могу достићи готово 70 °C, што значајно повећава ризик од дехидратације и исцрпљености. Због тога истраживачи са собом носе велике количине воде, хране и комплетне теренске опреме. Сав прибор за рад – од GPS уређаја, фото-опреме и прибора за узорковање, до личних ствари и опреме за камповање преноси се искључиво у ранчевима. У појединим ситуацијама дневна потрошња воде достиже и до седам литара по особи, што додатно повећава физичко оптерећење током вишесатних успона и силазака. Теренски рад на Атосу подразумева вишедневни боравак у природи, због чега истраживачи често спавају у шаторима постављеним на удаљеним локалитетима. Такав начин рада захтева пажљиво планирање, јер су извори воде ретки, а временски услови у планинским деловима могу бити веома променљиви. Истовремено, истраживања се одвијају у специфичном друштвеном и културном окружењу. Током рада истраживачи су у сталном контакту са монасима из различитих манастира, који често пружају логистичку подршку, информације о терену или помоћ приликом кретања кроз тешко доступне области. Ова сарадња доприноси јединственом искуству у којем се научни рад преплиће са свакодневицом једног од најстаријих монашких центара православног света. Поред логистичких тешкоћа, истраживање водоземаца и гмизаваца на Атосу посебно је значајно због велике разноврсности микроклиматских и еколошких услова. На релативно малом простору смењују се медитеранска станишта уз обалу, листопадне и четинарске шуме, планински пашњаци и стеновити високопланински предели. Таква хетерогеност омогућава присуство бројних врста различитих еколошких захтева, укључујући и ретке или слабо проучене таксоне. Због свега наведеног, биолошка истраживања Свете

Горе представљају спој научне експедиције, физичке издржљивости и прилагођавања екстремним условима рада. Управо та комбинација изолованости, природне очуваности и захтевног терена чини Атос једним од најинтригантнијих подручја за проучавање херпетофауне Балканског полуострва.

Кључне речи: Света Гора, Атос, херпетофауна, теренска истраживања, водоземци и гмизавци.

Biology Behind the Walls of the Holy Mountain: Research on the Amphibians and Reptiles of the Athos Peninsula – Logistics, Methods, and Field Experiences

Rastko Ajtić¹*

¹ University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology, Kragujevac, Serbia

* rastko.ajtic@pmf.kg.ac.rs

The Athos Peninsula, known as the Holy Mountain, represents one of the most unusual and challenging locations for biological research in Europe. Although this area is primarily renowned for its spiritual and cultural significance, its isolation and remarkable preservation have enabled the survival of an exceptionally rich amphibian and reptile fauna. For this reason, the study of the herpetofauna of this region is of considerable scientific importance, while at the same time presenting a serious logistical and physical challenge for researchers. One of the defining characteristics of fieldwork on Athos is the near-complete absence of modern road infrastructure. Large parts of the peninsula are inaccessible by vehicle, meaning that research localities can only be reached on foot. Field teams cover long distances every day along rocky paths, through dense forests, steep gorges, and mountain passes. An additional challenge arises from the fact that the research is conducted across a pronounced altitudinal gradient from sea level, only a few meters above the coast, all the way to the summit of Mount Athos, which rises above 2,000 meters. Such habitat diversity supports the presence of numerous species, but also requires the constant adaptation of research methodologies to highly variable environmental conditions. Climatic conditions further complicate the research process. During the summer months, temperatures on sun-exposed rocky surfaces can approach 70 °C, significantly increasing the risk of dehydration and exhaustion. Consequently, researchers must carry large quantities of water, food, and complete field equipment. All research gear: GPS devices, photographic equipment, and sampling tools, as well as personal belongings and camping equipment must be transported exclusively in backpacks. In certain situations, daily water consumption may reach up to seven liters per person, further increasing the physical strain during prolonged ascents and descents. Fieldwork on Athos often involves spending several consecutive days in remote natural environments, which is why researchers frequently sleep in tents established at isolated localities. Such work requires careful planning, as water sources are scarce and weather conditions in the mountainous regions can change rapidly. At the same time, research is carried out within a highly specific social and cultural environment. During their work, researchers are in constant contact with monks from various monasteries, who often provide logistical support, information about the terrain, or assistance in navigating difficult-to-access areas. This cooperation contributes to a unique experience in which scientific research

becomes intertwined with the everyday life of one of the oldest monastic centers of the Orthodox world. In addition to the logistical difficulties, the study of amphibians and reptiles on Athos is particularly important because of the remarkable diversity of microclimatic and ecological conditions. Within a relatively small area, Mediterranean coastal habitats, deciduous and coniferous forests, mountain pastures, and rocky high-altitude landscapes alternate in close succession. Such environmental heterogeneity allows for the presence of numerous species with different ecological requirements, including rare or poorly studied taxa. For all these reasons, biological research on the Holy Mountain represents a combination of scientific expedition, physical endurance, and adaptation to extreme working conditions. It is precisely this combination of isolation, natural preservation, and demanding terrain that makes Athos one of the most intriguing regions for the study of the herpetofauna of the Balkan Peninsula.

Keywords: Holy Mountain, Athos, herpetofauna, field research, amphibians and reptiles.

Агроиндустријски отпад у циркуларној економији: од функционалне хране до одрживе амбалаже и термохемијских производа

Весна Антић^{1*}

¹ Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Катедра за технологију хране и биохемију, Београд, Србија

* vantic@agrif.bg.ac.rs

Све веће количине агроиндустријског отпада представљају значајан еколошки и економски изазов, али истовремено и одржив извор биоактивних једињења и функционалних производа. У овом раду биће представљен развој интегрисане платформе за валоризацију биљних остатака из агроиндустрије, као што су стабљике, клипови кукуруза, љуске, пивски троп, комина грождја, јабуке и цвекле, као и других агрорезидуа и нуспроизвода прехранбене индустрије. Предложени приступ заснива се на стратегији каскадног коришћења биомасе ради максималне ефикасности у употреби ресурса. Расподела отпадне биомасе врши се на основу њеног хемијског састава, безбедносних карактеристика и функционалних својстава. Биљни остаци који испуњавају захтеве безбедности хране и поседују одговарајуће нутритивне и техно-функционалне карактеристике укључују се у прехранбене системе за развој обогаћених производа, чиме се унапређују њихова нутритивна и функционална својства. Биомаса која није погодна за прехранбену примену користи се за производњу одрживих материјала, укључујући зелене композите намењене паковању хране. У завршној фази, остаци који нису погодни ни за прехранбену примену ни за употребу у области материјала подвргавају се термохемијским процесима конверзије, као што су пиролиза и копиризација са другим врстама отпада, при чему настају производи са додатом вредношћу, укључујући био-уље, био-угаљ (*biochar*) и синтезни гас. Овакав интегрисани каскадни приступ омогућава оптимално искоришћење биомасе, минимизира настанак отпада и доприноси транзицији ка циркуларним и одрживим производним системима. Платформа ће бити представљена

кроз експерименталне резултате и аналитичку карактеризацију, уз посебан осврт на њену применљивост у прехранбеној индустрији, развоју одрживих материјала и еколошки одговорним стратегијама управљања отпадом.

Кључне речи: агроиндустријски отпад; валоризација биомасе; циркуларна економија; функционална храна; одрживи материјали; термохемијска конверзија.

Agro-Industrial Waste in the Circular Economy: From Functional Foods to Sustainable Packaging and Thermochemical Products

*Vesna Antić¹**

¹ University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Department of Food Technology and Biochemistry, Belgrade, Serbia

* vantic@agrif.bg.ac.rs

The increasing generation of agro-industrial waste poses a significant environmental and economic challenge while also constituting a sustainable source of bioactive compounds and value-added products. This article presents the development of an integrated platform for the valorization of plant-based agro-industrial residues, including stalks, corn cobs, husks, brewer's spent grain, grape, apple, and beetroot pomace, as well as other agricultural residues and food industry by-products. The proposed approach is based on a cascade biomass utilization strategy aimed at maximizing resource-use efficiency. The allocation of waste biomass is guided by its chemical composition, safety characteristics, and functional properties. Plant residues that meet food safety requirements and possess suitable nutritional and techno-functional characteristics are incorporated into food systems to develop enriched food products, thereby enhancing their nutritional and functional properties. Biomass unsuitable for food applications is used to produce sustainable materials, including green composites for food packaging. In the final stage, residues unsuitable for either food or material applications undergo thermochemical conversion processes, such as pyrolysis and co-pyrolysis with other waste streams, generating value-added products, including bio-oil, biochar, and syngas. This integrated cascade approach enables optimal biomass utilization, minimizes waste generation, and contributes to the transition toward circular and sustainable production systems. The platform will be demonstrated through experimental results and analytical characterization, with particular emphasis on its applicability in food systems, the development of sustainable materials, and environmentally responsible waste management strategies.

Keywords: agro-industrial waste; biomass valorization; circular economy; functional foods; sustainable materials; thermochemical conversion.

Супермасивне црне рупе у васиони – коеволуција са галаксијама

Лука Ч. Поповић^{1,2*}

¹ Астрономска опсерваторија, Београд, Србија

² Универзитет у Београду, Математички факултет, Катедра за астрономију, Београд, Србија

* lpopovic@aob.rs

Супермасивне црне рупе су присутне у центрима галаксија, а њихова маса се креће од милион до неколико десетина милијарди Сунчевих маса. Њихова улога у настанку и развоју галаксија је веома битна. Најновија истраживања указују да су се овако масивне црне рупе могле формирати у раном универзуму. У овом раду дајемо кратак осврт на природу ових објеката, начин њихове детекције и њихову улогу у развоју васионе коју тренутно посматрамо. Посебно ћемо дискутовати природу објеката које је открио Џејмс Веб телескоп названих „црвене мале тачке (*Little Red Dots* – LRDs)“, које су на великим космолошким помацима. Из спектроскопских посматрања може се закључити да су LRDs „огољене“ супермасивне црне рупе око којих не постоји звездани омотач.

Кључне речи: галаксије, црне рупе, спектроскопија.

Supermassive Black Holes in the Universe – Coevolution with Galaxies

Luka Č. Popović^{1,2*}

¹ Astronomical Observatory, Belgrade, Serbia

² University of Belgrade, Faculty of Mathematics, Department of Astronomy, Belgrade, Serbia

* lpopovic@aob.rs

Supermassive black holes are present in the centers of galaxies, and their mass ranges from a million to several tens of billions of solar masses. Their role in the formation and evolution of galaxies is very important. Recent investigations indicate that such massive black holes could be formed in the early universe. In this paper, we provide a brief overview of the nature of these objects, the methods of their detection, and their role in the development of the universe we currently observe. Especially, we will discuss the nature of objects discovered by the James Webb Telescope called “Little Red Dots – LRDs”, which are at large cosmological redshifts. From spectroscopic observations it could be concluded that LRDs are “naked” accreting supermassive black holes around which there is no stellar envelope.

Keywords: galaxies, black holes, spectroscopy.

Неки аспекти теорије потенцијала, визуализација, варијациони рачун и примене

Миодраг Матељевић^{1*}

¹ Универзитет у Београду, Математички факултет, Београд, Србија

* miodrag@matf.bg.ac.rs

Главна тема рада је варијациони рачун и веза са стационарним тачкама функционала и парцијалним једначинама као и примена у другим наукама. Парцијалне једначине и посебно једначине математичке физике описују многе појаве из реалног света. Представљен је кратак историјски преглед идеја и појмова са мотивацијама из реалног света. Дат је допринос развоју функционалног размишљања у вези са конвексношћу и једнодимензионалним кретањем, примењена је метода визуализације на неке математичке проблеме. Модификован је Архимедов приступ за израчунавање површине коју ограничава парабола. Дат је доказ познате неједнакости Михаила Петровића о конвексним функцијама применом метода визуализације. Наведене су неке мотивације за математичке теорије у реалном свету, посебно у физици. Разматране су везе између математичке теорије потенцијала и потенцијала у електростатици: стање равнотеже, тежња система да заузме положај минималне енергије, изопериметријске неједнакости у вези са капацитетом, геометријске неједнакости које укључују Герингов проблем и њихова веза са логом Интернационалне математичке уније. Разматрани су Дирихлеов принцип и варијациони рачун у вези са минималним површима, хармонијска пресликавања која су стационарне тачке функционала енергије и геометријске неједнакости. Раздвајањем деривације у попречну геометријску компоненту и уздужну двосмерну кинематичку компоненту, успешно смо успоставили једначине Лоренцове трансформације. Ова методологија ригорозно показује да релативност симултаности и пуна матрица трансформације простора и времена природно произлазе из непроменљивости двосмерне брзине светлости c_{ave} , чинећи било какву зависност од контроверзних постулата једносмерне синхронизације застарелом.

Кључне речи: теорија потенцијала, варијациони рачун, квазиконформна пресликавања.

Some Aspects of Potential Theory, Visualization, Calculus of Variations and Applications

Miodrag Mateljević^{1*}

¹ University of Belgrade, Faculty of Mathematics, Belgrade, Serbia

* miodrag@matf.bg.ac.rs

The main topic of the paper is the Calculus of variations and its connection with stationary points of functionals and partial equations, as well as its application in other sciences. Partial equations, and especially equations of mathematical physics, describe many phenomena from

the real world. A brief historical overview of ideas and concepts with motivations from the real world is presented. A contribution is made to the development of functional thinking in relation to convexity and one-dimensional motion, and the visualization method is applied to some mathematical problems. Archimedes' approach to calculating the area bounded by a parabola is modified. A proof of the well-known inequality of Mihail Petrović on convex functions is given using visualization methods. Some motivations for mathematical theories in the real world, especially in physics, are given. The connections between the mathematical theory of potentials and potentials in electrostatics are discussed: the state of equilibrium, the tendency of a system to occupy a position of minimum energy, isoperimetric inequalities related to capacitance, geometric inequalities involving the Göring problem, and their connection with the logo of the International Mathematical Union. The Dirichlet principle and the calculus of variations in relation to minimal surfaces, harmonic mappings that are stationary points of energy functionals, and geometric inequalities are discussed. By decoupling the derivation into a transverse geometric component and a longitudinal round-trip kinematic component, we have successfully established the Lorentz transformation equations. This methodology rigorously demonstrates that the relativity of simultaneity and the full spacetime transformation matrix emerge naturally from the invariance of the round-trip speed of light c_{ave} , rendering any dependency on controversial one-way synchronization postulates obsolete.

Keywords: potential theory, calculus of variations, quasiconformal mappings.

БИОЛОГИЈА И ЕКОЛОГИЈА
BIOLOGY AND ECOLOGY

Морфолошка варијабилност врсте *Crataegus monogyna* (Rosaceae) на подручју Бањ брда (Бања Лука, Република Српска)

Синиша Шкондрић^{1*} и Санда Хоџић²

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Бањој Луци, Медицински факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* sinisa.skondric@pmf.unibl.org

Crataegus monogyna Jacq. је широко распрострањена врста фамилије Rosaceae чији природни ареал обухвата већи дио Европе, Кавказ, сјеверну Африку и дијелове југозападне Азије. Насељава различите типове станишта у подручју умјерене климе, од шумских рубова и шикара до отворених травнатих површина, гдје се јавља као грм или мање дрво. Врсте рода *Crataegus* одликују се израженом морфолошком варијабилношћу, што њихову идентификацију и таксономску интерпретацију чини сложеном. Морфометријска анализа листова и плодова представља један од најчешће коришћених приступа у проучавању интраспецијске варијабилности рода *Crataegus*, будући да су управо ови органи од посебног значаја за таксономску диференцијацију врста и инфраспецијских таксона. Циљ овог рада био је да се утврди степен морфолошке варијабилности јединки врсте *C. monogyna* на подручју Бањ брда на основу анализе одабраних карактера листа и плода. Бањ брдо налази се у сјеверозападном дијелу Републике Српске у саставу Града Бања Лука. Подручје Бањ брда карактерише шумска вегетација реда *Carpinetalia betuli*, а фитогеографски се налази на контактної зони између илирске провинције и панонског сектора средњоевропске провинције евросибирско-сјеверноамеричког региона. Укупно је анализирана 31 јединка. Са сваке јединке сакупљен је по један цвјетајући кратки изданак са најмање три листа и три плода. Током теренских истраживања сакупљени листови и плодови фиксирани су у мјешавини етанола и глицерола (1:1). Укупно је анализирано 12 морфолошких карактера, укључујући дужину лисне дршке, дужину лисне плоче, дубину синуса доњег режња лисне плоче, дужину и ширину доњег режња лисне плоче, укупну дужину листа, висину и ширину плода, као и више односа између наведених карактера. Добијени резултати обрађени су примјеном дескриптивне статистичке анализе. Средња вриједност дужине лисне дршке износила је 1,48 cm, дужине лисне плоче 3,35 cm, док је средња вриједност укупне дужине листа била 4,83 cm. Карактери висина и ширина плода имали су средње вриједности 0,85 cm и 0,65 cm. Резултати су указали на присуство слабе до умјерене морфолошке варијабилности већине анализираних карактера. Највећу варијабилност испољила је дужина лисне дршке ($CV = 34,57\%$), као и однос дужине лисне дршке и дужине лисне плоче ($CV = 31,28\%$) и дубина синуса доњег режња лисне плоче ($CV = 26,99\%$). Најмању варијабилност показала је дужина лисне плоче ($CV = 13,87\%$). На основу вриједности коефицијента варијације већина анализираних карактера сврстана је у категорију слабо до умјерено варијабилних, док високо варијабилни карактери нису забиљежени. Ово истраживање представља прве податке о морфолошкој варијабилности врсте *C. monogyna* на подручју Бањ брда и доприноси бољем познавању морфолошких особина ове врсте у Републици Српској.

Кључне ријечи: морфометрија, лист, плод, интраспецијска варијабилност.

Morphological Variability of *Crataegus monogyna* (Rosaceae) in the Area of Banj Brdo (Banja Luka, the Republic of Srpska)

Siniša Škondrić^{1*} and Sanda Hodžić²

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² University of Banja Luka, Faculty of Medicine, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* sinisa.skondric@pmf.unibl.org

Crataegus monogyna Jacq. is a widespread species of the family Rosaceae whose native range encompasses most of Europe, the Caucasus, North Africa, and parts of Southwest Asia. It inhabits various habitat types within the temperate climatic zone, ranging from forest edges and shrub communities to open grasslands, where it occurs as a shrub or a small tree. Species of the genus *Crataegus* are characterized by pronounced morphological variability, which often complicates their identification and taxonomic interpretation. Morphometric analysis of leaves and fruits represents one of the most commonly used approaches in studies of intraspecific variability within the genus *Crataegus*, as these organs are of particular importance for the taxonomic differentiation of species and infraspecific taxa. The aim of this study was to determine the degree of morphological variability of *C. monogyna* individuals from the Banj Brdo area based on the analysis of selected leaf and fruit characters. Banj Brdo is situated in the northwestern part of the Republic of Srpska, within the territory of the City of Banja Luka. The area is characterized by forest vegetation belonging to the order Carpinetalia betuli and is phytogeographically located in the contact zone between the Illyrian Province and the Pannonian sector of the Central European Province within the Euro-Siberian–North American Region. A total of 31 individuals were analyzed. One flowering short shoot bearing at least three leaves and three fruits was sampled from each individual. During field investigations, collected leaves and fruits were fixed in a mixture of ethanol and glycerol (1:1). In total, 12 morphological characters were examined, including petiole length, leaf blade length, depth of the lower lobe sinus, length and width of the lower leaf lobe, total leaf length, fruit height and width, as well as several ratios derived from these characters. The results were analyzed using descriptive statistical methods. The mean petiole length was 1.48 cm, the mean leaf blade length was 3.35 cm, while the mean total leaf length was 4.83 cm. Mean values of fruit height and width were 0.85 cm and 0.65 cm, respectively. The results indicated low to moderate morphological variability for most of the analyzed characters. The highest variability was recorded for petiole length (CV = 34.57%), followed by the ratio of petiole length to leaf blade length (CV = 31.28%) and the depth of the lower lobe sinus (CV = 26.99%). The lowest variability was observed for leaf blade length (CV = 13.87%). According to the coefficients of variation, most analyzed characters exhibited low to moderate variability, whereas no highly variable characters were recorded. This study provides the first data on the morphological variability of *C. monogyna* in the Banj Brdo area and contributes to a better understanding of the morphological characteristics of this species in the Republic of Srpska.

Keywords: morphometrics, leaf, fruit, intraspecific variability.

Разлике у анатомској грађи лиске и лисне дршке три клона врба (*Salix* spp.)

Зорана Хркић Илић^{1*}

¹ ЈУ Гимназија Бања Лука, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* zoranahi26@gmail.com

Истраживање анатомске грађе лиске и лисне дршке има значај у идентификацији и диференцијацији биљних врста. Клонови три врсте врба (*Salix alba* L. клон 'B-44', *Salix viminalis* L. клон 'SV068 и *Salix matsudana* Koidz. клон 'SM4041') раније нису били предмет детаљне анатомске анализе листа. Циљ истраживања био је да се утврде и упореде анатомске карактеристике лиске и лисне дршке, као и да се процијени степен варијабилности између испитиваних клонова врба. Одабрани клонови врба добијени су селекцијом биљног материјала из банке гена Института за низијско шумарство и животну средину у Новом Саду. Резнице клонова гајене су у полуконтролисаним условима стакленика, методом земљишне културе, у Мичерлиховим посудама са 5 kg земљишног супстрата. Узорковање биљног материјала обављено је у три термина током вегетационог периода (од маја до септембра) ради поређења анатомске грађе у три фазе. Попречни пресјеци лиске и лисних дршки дебљине 60 μm прављени су помоћу Leica CM 1850 криостата. Све анализе попречних пресјека и мјерења извршени су помоћу свјетлосног микроскопа Motic BA210 и система за анализу слике Image Analyzing System Motic Image Plus 3.0. За статистичку обраду података кориштени су програмски пакети Statistica 12, Rstudio 2022.12.0 и PAST 4.12b for Windows. Описана је анатомска грађа лиски и лисних дршки анализираних клонова врба. Измјерени су сљедећи анатомски параметри лиске: површина лиске на попречном пресјеку, дебљина лиске на 1/4 ширине (ван главног нерва), дебљина лиске на главном нерву, дебљина адаксијалног и абаксијалног епидермиса, дебљина сунђерастог и палисадног ткива и површина централног нерва. Резултати су показали да лиска свих анализираних клонова има дорзивентралну грађу, са једнослојним адаксијалним и абаксијалним епидермисом и хлоренхимом диференцираним на палисадно и сунђерасто ткиво. Палисадно ткиво је компактно, двослојно. Сунђерасто ткиво грађено је од 2–3 растресита слоја ћелија, у неким су присутне кристалне друзе. У зони централног нерва налазе се два наспрамно постављена биколатерална проводна снопића. Ксилем има лучни облик. Уз ксилем и флоем снопића централног нерва налази се склерификовани паренхим. Субепидермално, у зони главног нерва присутно је више слојева коленхима, адаксијално. У базалном дијелу лиске абаксијално су присутна 1-2 слоја ћелија коленхима. У паренхиму зоне централног нерва налазе се кристалне друзе и призматични кристали. Клон 'SM4041' се издвојио већим вриједностима површине и дебљине лиске и већом развијеношћу епидермалних ткива и хлоренхима. Изузев дебљине лиске на главном нерву, клонови 'B-44' и 'SV068' показали су међусобно сличне вриједности већине анализираних анатомских карактеристика лиске. Лисна дршка је показала варијабилност облика на попречном пресјеку: округло, овалан или троугласт. Њена анатомска грађа била је релативно уједначена и обухватила једнослојни епидермис, субепидермални коленхим ануларног типа и паренхим са кристалним друзама. Васкуларно ткиво лисне дршке чине два наспрамно постављена биколатерална проводна снопића. На основу добијених резултата може се закључити да између испитиваних клонова врба постоји интергенотипска варијабилност анатомских параметара лиске, док је грађа лисне дршке у великој мјери конзистентна. Добијени

резултати пружају нове податке који имају значај у потпунијем познавању анатомске грађе врста из рода *Salix*.

Кључне ријечи: анатомска грађа, лиска, лисна дршка, врба (*Salix*), интергенотипска варијабилност.

Differences in the Anatomical Structure of the Leaf Blade and Petiole of Three Willow Clones (*Salix* spp.)

Zorana Hrkić Ilić*

¹ PI Gymnasium Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* zoranahi26@gmail.com

The study of the anatomical structure of the leaf blade and petiole is important for the identification and differentiation of plant species and subspecies. Clones of three willow species (*Salix alba* L. clone 'B-44', *Salix viminalis* L. clone 'SV068' and *Salix matsudana* Koidz. clone 'SM4041') have not previously been subjected to detailed anatomical analysis of the leaf. The aim of this study was to determine and compare the anatomical characteristics of the leaf blade and petiole and to assess the degree of variability among the examined willow clones. The selected willow clones were obtained from plant material collected from the gene bank of the Institute of Lowland Forestry and Environment in Novi Sad. Cuttings were grown under semi-controlled greenhouse conditions using soil culture in Mitscherlich pots containing 5 kg of soil. Sampling was performed in three terms during the growing season (May to September) for comparing the anatomical structure across three phases. Cross-sections of leaf blades and petioles with 60 µm thickness were prepared using Leica CM 1850 cryostat. Anatomical observations and measurements were performed using Motic BA210 light microscope and the Image Analyzing System Motic Image Plus 3.0. Statistical analyses were conducted using Statistica 12, RStudio 2022.12.0 and PAST 4.12b. The anatomical structure of the leaf blades and petioles of the analyzed willow clones was described. The following leaf blade anatomical parameters were measured: cross-sectional area, thickness at 1/4 width (outside the main vein), thickness at the main vein, thickness of adaxial and abaxial epidermis, thickness of spongy and palisade tissue and cross-section area of the main vein. The results showed that all analyzed clones possess dorsiventral leaf structure with single-layer adaxial and abaxial epidermis and chlorenchyma differentiated into palisade and spongy tissue. The palisade tissue is compact and two-layered. The spongy tissue consists of 2–3 loose layers of cells, some containing crystal druses. In the region of the central vein two bicollateral vascular bundles are arranged opposite to each other. The xylem has an arcuate shape. Sclerenchymatous parenchyma surrounds the xylem and phloem of the central vein. Several layers of collenchyma are present subepidermally on the adaxial side of the main vein, while 1–2 layers occur abaxially, mainly in the basal part of the leaf blade. Crystal druses and prismatic crystals were observed in the central vein parenchyma. Clone 'SM4041' was distinguished by higher values of leaf blade area and thickness as well as greater development of epidermal tissues and chlorenchyma. Clones 'B-44' and 'SV068' showed similar values for most leaf anatomical traits except for leaf thickness at the main vein. The petiole showed variation in cross-sectional shape: circular, oval or triangular. Its anatomical structure was relatively uniform, consisting of a single-layer epidermis, subepidermal annular collenchyma and parenchyma with crystal druses. The vascular system consists of two oppositely arranged bicollateral vascular bundles. The obtained results indicate intergenotypic

variability in leaf anatomical parameters among examined willow clones. The petiole anatomy remains largely consistent. These results provide new data contributing to a more complete understanding of the anatomical structure of *Salix* species.

Keywords: anatomical structure, leaf blade, petiole, willow (*Salix*), intergenotypic variability.

Карактеризација цвјетања алги у Вишеградској акумулацији (ријека Дрина)

Јасмина Камберовић^{1*} и Маја Палангетих^{1,2}

¹ Универзитет у Тузли, Природно-математички факултет, Одсјек за биологију, Тузла, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Источном Сарајеву, Технолошки факултет, Зворник, Босна и Херцеговина

* jasmina.kamberovic@untz.ba

Цвјетање алги представља широко распрострањену појаву узроковану масовним размножавањем фитопланктона у воденим тијелима. Ова појава представља све израженији проблем у копненим водама. Током посљедње четири деценије, цвјетање алги у слатководним екосистемима документовано је у више од 20.000 језера широм свијета. Цвјетање алги узрокује бројне еколошке и друштвено-економске посљедице, укључујући погоршање квалитета воде, смањење прозирности воде, поремећаје хранидбених мрежа, потенцијалну продукцију токсина и ограничавање употребе воде за водоснабдијевање и рекреацију. Хидроакумулације су посебно осјетљиве на ову појаву, јер промјене протока и времена задржавања воде могу погодовати акумулацији биомасе фитопланктона. Циљ овог истраживања био је утврдити таксономски састав фитопланктона током цвјетања алги у Вишеградској акумулацији на ријеци Дрини и процијенити састав фитопланктона у односу на измјерене физичко-хемијске карактеристике воде. Узорковање фитопланктона спроведено је у мају 2024. године, током интензивног цвјетања алги забиљеженог на четири локалитета унутар акумулације: Међеђа, ушће ријеке Лим, подручје низводно од утока Лима и подручје у близини бране. Мрежни узорци фитопланктона прикупљени су помоћу фитопланктонске мреже величине оцаца 25 µm, филтрирањем 20 литара воде. Узорци су анализирани свјетлосном микроскопијом, таксони су идентификовани кориштењем релевантне таксономске литературе, а релативна бројност одређена је примјеном семиквантитативне скале. Бројност доминантног таксона додатно је процијењена помоћу Нагеотеове коморе за бројање. Температура воде, рН вриједност, концентрација отопљеног кисика, електрична проводљивост и прозирност измјерени су на терену, док су различити облици азота и фосфора, укупни органски угљик, хемијска потрошња кисика, тврдоћа воде, хлориди и сулфати анализирани у лабораторији. Укупно су идентификована 24 таксона фитопланктона. На свим истраживаним локалитетима врста *Peridinium bipes* F. Stein била је изразито доминантна и имала је највећу релативну бројност, док су дијатомеје *Fragilaria* spp., *Asterionella formosa* Hassall и *Asterionella formosa* var. *acaroides* Lemmermann биле знатно мање заступљене. Већи интензитет цвјетања у узводном дијелу акумулације, у близини Међеђе, указује на потенцијални значај хидролошког режима и доступности нутријената. Добијени резултати указују на потребу за континуираним праћењем фитопланктона и физичко-хемијских карактеристика воде, нарочито током периода повећаног ризика од појаве цвјетања алги. *Захвалница:* Излагање на конференцији

подржано је кроз пројект „Анализа одабраних биолошких метода оцјене еколошког стања вода на сливном подручју ријеке Саве“, подржан од стране Министарства образовања и науке Тузланског кантона.

Кључне ријечи: фитопланктон, *Peridinium bipes*, слатководна акумулација, физичко-хемијски параметри, квалитет воде.

Characterization of Algal Bloom in the Višegrad Reservoir (Drina River)

Jasmina Kamberović^{1*} and Maja Palangetic^{1,2}

¹ University of Tuzla, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Department of Biology, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

² University of East Sarajevo, Faculty of Technology, Zvornik, Bosnia and Herzegovina

* jasmina.kamberovic@untz.ba

Algal blooms are a widespread phenomenon caused by the massive proliferation of phytoplankton in water bodies. This phenomenon is an increasing problem in inland waters. Over the past four decades, algal blooms in freshwater ecosystems have been documented in more than 20,000 lakes worldwide. Algal blooms cause numerous ecological and socioeconomic consequences, including the deterioration of water quality, reduced water transparency, disruption of food webs, potential toxin production, and restrictions on the use of water for drinking-water supply and recreation. Reservoirs are particularly vulnerable to this phenomenon, as changes in water flow and residence time may promote the accumulation of phytoplankton biomass. The aim of this study was to determine the taxonomic composition of phytoplankton during an algal bloom in the Višegrad Reservoir on the Drina River and to assess the phytoplankton composition in relation to measured physicochemical characteristics of the water. Phytoplankton sampling was conducted in May 2024 during an intense algal bloom recorded at four locations within the reservoir: Mededa, the mouth of the Lim River, the area downstream of the Lim River inflow, and the area near the dam. Net phytoplankton samples were collected using a phytoplankton net with a mesh size of 25 µm by filtering 20 L of water. The samples were analysed by light microscopy, taxa were identified using relevant taxonomic literature, and relative abundance was determined using a semiquantitative scale. The abundance of the dominant taxon was additionally assessed using a Nageotte counting chamber. Water temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, and transparency were measured in situ, while different forms of nitrogen and phosphorus, total organic carbon, chemical oxygen demand, water hardness, chlorides, and sulphates were analysed in the laboratory. A total of 24 phytoplankton taxa were identified. The phytoplankton community was strongly dominated by *Peridinium bipes* F.Stein at all investigated sites, while the diatoms *Fragilaria* spp., *Asterionella formosa* Hassall, and *Asterionella formosa* var. *acaroides* Lemmermann were considerably less abundant. The greater intensity of the bloom in the upstream section of the reservoir near Mededa suggests the potential importance of the hydrological regime, and nutrient availability. These findings highlight the need for continuous monitoring of phytoplankton and the physicochemical of water, particularly during periods of increased risk of algal bloom development. Acknowledgment: The conference presentation was supported through the project „Analysis of Selected Biological Methods for Assessing the Ecological Status of Waters in the Sava River Basin”, funded by the Ministry of Education and Science of Tuzla Canton.

Keywords: phytoplankton, *Peridinium bipes*, freshwater reservoir, physicochemical parameters, water quality.

Фитохемијски састав и биолошка активност листа боровнице (*Vaccinium myrtillus* L.)

Ружица Ждеро Павловић^{1*}, Сара Хоурани², Алисија Кучарска³,
Бранимир Павлић² и Борис М. Поповић¹

¹ Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет, Нови Сад, Србија

³ Универзитет природних наука у Вроцлаву, Вроцлав, Пољска

* ruzica.zdero@polj.uns.ac.rs

Лист боровнице (*Vaccinium myrtillus* L.) представља значајан извор биоактивних једињења са израженим антиоксидантним и антидијабетичким потенцијалом. Епидемиолошка истраживања указују да исхрана богата биљним намирницама, посебно воћем и поврћем, доприноси смањеном ризику од развоја хроничних болести, укључујући дијабетес мелитус типа 2. Ови ефекти се у великој мери приписују присуству фенолних једињења, која могу утицати на метаболизам угљених хидрата путем инхибиције кључних дигестивних ензима, као што су α -амилаза и α -глукозидаза. У том контексту, биљни екстракти представљају природну алтернативу синтетичким инхибиторима, са потенцијално блажим нежељеним ефектима. Циљ овог истраживања је фитохемијска карактеризација и испитивање антиоксидативне и биолошке активности екстракта листа боровнице, са посебним освртом на његов потенцијал у модулацији ензима укључених у метаболизам угљених хидрата. У овом раду испитана је инхибиторна активност према α -амилази и α -глукозидази, као кључним ензимима од значаја за контролу постпрандијалне гликемије. Фитохемијски профил екстракта одређен је применом савремених аналитичких техника UPLC-ESI-TQD-MS/MS и HPLC-PDA. Садржај укупних фенола и флавоноида одређен је спектрофотометријским методама, док је антиоксидантна активност процењена применом DPPH и FRAP тестова. Идентификоване су различите класе биоактивних једињења, укључујући флавоноле (доминантно деривате кверцетина), фенолне киселине, флаван-3-оле и иридоиде. Резултати указују да екстракт листа боровнице садржи висок ниво укупних фенола (222,94 mg еквивалената галне киселине/g) и флавоноида (96,07 mg еквивалената катехина/g). У складу са тим, екстракт је испољио значајну антиоксидантну активност, са IC_{50} вредношћу у DPPH тесту од 0,22 mg/ml и редукционом способношћу у FRAP тесту од 209,88 mg/g. Поред тога, забележена је значајна инхибиторна активност према испитиваним ензимима, са IC_{50} вредностима од 1,61 mg/ml за α -амилазу и 0,33 mg/ml за α -глукозидазу. Добијени резултати указују на изражен биолошки потенцијал екстракта листа боровнице, који се може довести у везу са његовим високим садржајем фенолних једињења, посебно флавонола и фенолних киселина. На основу ових резултата може се закључити да лист боровнице представља перспективан природни извор биоактивних једињења са могућом применом у развоју функционалне хране и нутрацеутика, као и у превенцији и контроли дијабетеса мелитуса типа 2.

Кључне речи: боровница, антиоксиданси, дијабетес.

Phytochemical Profile and Biological Activities of Bilberry Leaf (*Vaccinium myrtillus* L.)

**Ružica Ždero Pavlović^{1*}, Sara Hourani², Alicja Kucharska³,
Branimir Pavlić² and Boris M. Popović¹**

¹ University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Technology, Novi Sad, Serbia

³ Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Wrocław, Poland

* ruzica.zdero@polj.uns.ac.rs

Bilberry leaf (*Vaccinium myrtillus* L.) represents a significant source of bioactive compounds with pronounced antioxidant and antidiabetic potential. Epidemiological studies indicate that diets rich in plant-based foods, particularly fruits and vegetables, are associated with a reduced risk of chronic diseases, including type 2 diabetes mellitus. These effects are largely attributed to the presence of phenolic compounds, which can influence carbohydrate metabolism through the inhibition of key digestive enzymes such as α -amylase and α -glucosidase. In this context, plant extracts represent a natural alternative to synthetic inhibitors, which are often associated with undesirable side effects. The aim of this study was to perform a phytochemical characterization and evaluate the antioxidant and enzyme inhibitory activities of bilberry leaf extract, with particular emphasis on its potential to modulate enzymes involved in carbohydrate metabolism. In this study, inhibitory activity against α -amylase and α -glucosidase was assessed, as these enzymes play a key role in the control of postprandial glycemia. The phytochemical profile of the extract was determined using advanced analytical techniques, including UPLC-ESI-TQD-MS/MS and HPLC-PDA. Total phenolic and flavonoid contents were determined by spectrophotometric methods, while antioxidant activity was evaluated using DPPH and FRAP assays. Various classes of bioactive compounds were identified, including flavonols (predominantly quercetin derivatives), phenolic acids, flavan-3-ols, and iridoids. The results indicate that bilberry leaf extract contains high levels of total phenolics (222.94 mg gallic acid equivalents/g) and flavonoids (96.07 mg catechin equivalents/g). Accordingly, the extract exhibited significant antioxidant activity, with a DPPH IC₅₀ value of 0.22 mg/mL and a FRAP value of 209.88 mg/g. In addition, significant inhibitory activity was observed against the tested enzymes, with IC₅₀ values of 1.61 mg/mL for α -amylase and 0.33 mg/mL for α -glucosidase. The obtained results indicate a pronounced biological potential of bilberry leaf extract, which can be associated with its high content of phenolic compounds, particularly flavonols and phenolic acids. Based on these findings, it can be concluded that bilberry leaf represents a promising natural source of bioactive compounds with potential applications in the development of functional foods and nutraceuticals, as well as in the prevention and management of type 2 diabetes mellitus.

Keywords: bilberry, antioxidant, diabetes.

Акутна орална токсичност циперметрина и тебуконазола код врсте *Eristalinus aeneus* (Scopoli, 1763) (Diptera: Syrphidae)

Милица Раденковић¹, Данијела Којућ¹, Јелена Пураћ¹, Никола Кривокућа¹,
Теа Скенцић¹, WP2 WildPosh Consortium и Анте Вујућ¹

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за биологију и екологију, Нови Сад, Србија

* milica.radenkovic@dbe.uns.ac.rs

Све интензивнија примена пестицида може негативно утицати на опрашиваче. Иако су околике муве важни опрашивачи у екосистемима, њихова осетљивост на пестициде још није довољно истражена. Циљ овог рада био је да се испита акутна орална токсичност инсектицида циперметрина и фунгицида тебуконазола, примењених појединачно и у комбинацији, код одраслих јединки врсте *Eristalinus aeneus*. Експеримент је обухватио укупно 30 јединки по третману, распоређених у шест репликација са по пет јединки. У свакој репликацији примењено је 100 µL раствора пестицида познате концентрације. Ради праћења уноса раствора, јединке су биле означене бојом, а оне које нису конзумирале раствор искључене су из анализе. Унос по јединки процењен је на основу промене масе раствора током трочасовног периода излагања, што је омогућило израчунавање приближне дозе по јединки. Смртност и сублетални ефекти (парализа, смањена координација и неуобичајено понашање) праћени су након 4, 24, 48 и 96 часова. Смртност након 96 часова износила је 33,33% након излагања циперметрину (0,16 µg по јединки), док тебуконазол (24,69 µg по јединки) није изазвао смртност. Комбинована примена ових пестицида (циперметрин 0,07 µg по јединки; тебуконазол 11,40 µg по јединки) довела је до нешто веће смртности од 36,67% након 96 часова. Сублетални ефекти циперметрина уочени су већ у прва четири часа и укључивали су 19,23% парализе, 15,38% смањене координације и 3,85% неуобичајеног понашања, али су готово у потпуности нестали након 48 часова. Код комбинованог третмана забележени су израженији почетни ефекти (20,83% парализе, 4,7% смањене координације и 33,33% неуобичајеног понашања), који су се такође повукли до 48. часа. Тебуконазол није изазвао сублеталне ефекте. Резултати овог истраживања указују да одрасле јединке врсте *Eristalinus aeneus* показују одређени степен толеранције на испитиване пестициде, али да излагање циперметрину доводи до значајне смртности и изражених сублеталних ефеката. Ови ефекти могу нарушити кретање, исхрану и избегавање предатора, чиме се смањују шансе за преживљавање у природним условима. Добијени резултати наглашавају потребу за даљим истраживањима утицаја пестицида на лебделице. *Захвалница:* Овај рад је подржан кроз програм Европске уније Horizon Еуреоре за истраживање и иновације, у оквиру уговора о гранту бр. 101135238 (WildPosh), као и од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (уговори бр. 451-03-33/2026-03/200125 и 451-03-34/2026-03/200125).

Кључне речи: лебделице, сублетални ефекти, смртност, изложеност пестицидима, опрашивачи.

Acute Oral Toxicity of Cypermethrin and Tebuconazole in *Eristalinus aeneus* (Scopoli, 1763) (Diptera: Syrphidae)

Milica Radenković¹, Danijela Kojić¹, Jelena Purać¹, Nikola Krivokuća¹, Tea Skendžić¹, WP2 WildPosh Consortium and Ante Vujić¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Biology and Ecology, Novi Sad, Serbia

* milica.radenkovic@dbe.uns.ac.rs

Increasing pesticide application can negatively affect pollinators. Although hoverflies represent important pollinators in ecosystems, their sensitivity to pesticides remains insufficiently studied. The aim of this study was to investigate the acute oral toxicity of the insecticide cypermethrin and the fungicide tebuconazole, applied individually and in combination, in adult individuals of *Eristalinus aeneus*. The experiment included a total of 30 individuals per treatment, distributed across six replicates with five individuals each. In each replicate, 100 µL of pesticide solution of known concentration was applied. To track solution intake, individuals were marked by color, and those that did not consume the solution were excluded from the analysis. Intake per individual was estimated based on the change in solution mass during a three-hour exposure period, allowing calculation of the approximate dose per individual. Mortality and sublethal effects (paralysis, reduced coordination, and unusual behavior) were monitored after 4, 24, 48, and 96 hours. Mortality after 96 hours was 33.33% following cypermethrin exposure (0.16 µg/individual), whereas tebuconazole (24.69 µg/individual) did not induce mortality. The combination (cypermethrin 0.07 µg/individual; tebuconazole 11.40 µg/individual) of these pesticides resulted in a slightly higher mortality of 36.67% after 96 hours. Sublethal effects of cypermethrin were observed within the first 4 hours, including 19.23% paralysis, 15.38% reduced coordination, and 3.85% unusual behavior, but had almost completely disappeared by 48 hours. In the combined treatment, stronger initial effects were recorded (20.83% paralysis, 4.7% reduced coordination, 33.33% unusual behavior), which also subsided by 48 hours. Tebuconazole did not induce sublethal effects. The results of this study indicate that, although adult individuals of *Eristalinus aeneus* show a certain level of tolerance to the tested pesticides, exposure to cypermethrin leads to significant mortality and pronounced sublethal effects. These effects can impair movement, feeding, and predator avoidance, reducing the chances of survival in natural conditions. The findings highlight the need for further research on the effects of pesticides on hoverflies. *Acknowledgements:* This work was supported by the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No. 101135238 (WildPosh) and the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/ 200125 and 451-03-34/2026-03/ 200125).

Keywords: hoverflies, sublethal effects, mortality, pesticide exposure, pollinators.

Динамика тиреоцита у метимазол-индукованој хипотиреози код пацова

Мирела Укропина^{1*}, Марија Ђурђевић¹ и Маја Чакић-Милошевић¹

¹ Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Институт за зоологију, Београд, Србија

* mirela@bio.bg.ac.rs

Штитна жлезда производи и ослобађа тиреоидне хормоне тријодтиронин и тетраиодтиронин (тироксин). Ови хормони утичу на готово сваку ћелију у организму, подстичући метаболизам угљених хидрата и синтезу протеина. Поред тога, тиреоидни хормони регулишу ћелијску пролиферацију и смрт првенствено преко нуклеарних рецептора који утичу на експресију гена. Производња тиреоидних хормона регулише се преко тиреостимулишућег хормона (ТСХ), који се ствара у хипофизи; поремећаји могу довести до хипотиреозе или хипертиреозе. Метимазол је анти tiroидни лек који се користи у терапији хипертиреозе. Он инхибира тироидну пероксидазу, спречавајући јодирање тирозинских остатака у тиреоглобулину, чиме се зауставља синтеза тироидних хормона и изазива значајно повећање ТСХ. Међутим, неадекватна доза може довести до хипотиреозе. Циљ овог истраживања био је да се испитају ћелијске динамике фоликуларних ћелија штитне жлезде (тиреоцита) у експериментално индукованој системској хипотиреози. Током три недеље, мужјаци Wistar пацова подељени су у две групе (n = 6). Група која је примала метимазол (М) имала је неограничен приступ 0,02% раствору метимазола у води за пиће, док је контролна група (С) добијала воду са чесме. Након стандардних поступака за светлосну микроскопију, примењена је LSAB метода имунохистохемије на пресецима штитне жлезде користећи моноклонско примарно антитело анти-Ki67 (M7248, DakoCytomation, 1:30) за идентификацију ћелија у свим фазама митозе. Ki67 је нуклеарни протеин, специфично транскрипциони фактор повезан са ћелијском пролиферацијом и транскрипцијом рибозомалне РНК. Кондензована или фрагментисана једра мртвих ћелија идентификована су методом бојења пропидијум-јодидом (PI), при чему PI интеркалира у ДНК без преференције секвенце. Морфометријска мерења извршена су помоћу ImageJ софтвера. У С групи Ki67-позитивна једра нису уочена, док је у М групи њихово присуство било значајно, са 51 ћелијом/mm² пресека ткива. Такође је уочена промењена хистолошка организација: уместо уобичајених округлих фоликула, фоликули у М групи били су структурно поремећени, смањене величине и праћени израженом хипертрофијом тиреоцита. Једра мртвих ћелија била су интензивно црвено обојена и јасно флуоресцентна. Чешће су уочене у М групи него у С групи. Мртве ћелије су у С групи углавном биле присутне у лумену фоликула, док су у М групи уочене и унутар фоликуларног епитела. У закључку, континуирана стимулација ТСХ повећава и пролиферацију и смрт тиреоцита, што их чини лакшим за уочавање под светлосном микроскопијом. Пролиферација тиреоцита је снажно подстакнута у покушају нормализације нивоа тироидних хормона. Међутим, синтеза хормона остаје блокирана због инхибиторних ефеката метимазола, што на крају доводи до потпуног престанка ослобађања хормона у крв.

Кључне речи: штитна жлезда, хипотиреоза, светлосна микроскопија, пролиферација, ћелијска смрт.

Thyreoocyte Dynamics in Methimazole-Induced Hypothyroidism in Rats

Mirela Ukropina^{1}, Marija Đurđević¹ and Maja Čakić-Milošević¹*

¹ University of Belgrade, Faculty of Biology, Institute of Zoology, Belgrade, Serbia

* mirela@bio.bg.ac.rs

The thyroid gland produces and releases the thyroid hormones triiodothyronine and tetraiodothyronine (thyroxine). These hormones affect nearly every cell in the body, promoting carbohydrate metabolism and protein synthesis. Additionally, thyroid hormones regulate cell proliferation and death primarily through nuclear receptors that influence gene expression. The production of thyroid hormones is regulated by thyroid-stimulating hormone (TSH), which is produced in the pituitary gland; abnormalities can lead to hypothyroidism or hyperthyroidism. Methimazole is an antithyroid drug used to treat hyperthyroidism. It inhibits thyroid peroxidase, preventing the iodination of tyrosine residues within thyroglobulin, thus halting thyroid hormone synthesis and causing a significant increase in TSH. However, inadequate dosage can result in hypothyroidism. The goal of the present study was to explore the cellular dynamics of thyroid follicular cells (thyrocytes) in experimentally induced systemic hypothyroidism. Over three weeks, male Wistar rats were divided into two groups (n = 6). The methimazole group (M) had unrestricted access to a 0.02% methimazole solution in their drinking water, while the control group (C) received tap water. Following standard procedures for light microscopy, the LSAB method of immunohistochemistry was performed on thyroid gland sections using the anti-Ki67 primary monoclonal antibody (M7248, DakoCytomation, 1:30) to identify cells in any phase of mitosis. Ki67 is a nuclear protein, specifically a transcription factor associated with cellular proliferation and ribosomal RNA transcription. Condensed or fragmented nuclei of dead cells were identified using the propidium iodide (PI) staining method, in which PI binds to DNA by intercalating between base pairs without sequence preference. Morphometric measurements were performed using ImageJ software. In the C group, Ki67-positive nuclei were not observed, while in the M group their presence was significant, with 51 cells/mm² of tissue section. The general histological organisation was also altered: instead of the usual round follicles, follicles in the M group were structurally disturbed, reduced in size, and accompanied by marked thyrocyte hypertrophy. Nuclei of dead cells were intensely stained red and clearly fluorescent. They were observed more frequently in the M group than in the C group. Dead cells were mainly present in the follicular lumen in the C group, whereas in the M group they were also observed within the follicular epithelium. In conclusion, continuous TSH stimulation increases both proliferation and death of thyrocytes, making them easier to observe under light microscopy. Proliferation of thyrocytes is strongly favoured in an attempt to normalise thyroid hormone levels. However, hormone synthesis remains blocked due to the obstructive effects of methimazole, which ultimately leads to a complete cessation of hormone release into the blood.

Keywords: thyroid gland, hypothyroidism, light microscopy, proliferation, cell death.

Метимазолом индукована хипотиреоза утиче на хистолошку организацију штитне жлезде код пацова

Мирела Укропина^{1*}, Марија Ђурђевић¹ и Маја Чакић-Милошевић¹

¹ Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Институт за зоологију, Београд, Србија

* mirela@bio.bg.ac.rs

Штитна жлезда је ендокрина жлезда која лучи хормоне тријодтиронин и тетрајодтиронин (тироксин). Ови хормони регулишу производњу топлоте у организму и стопу базалног метаболизма и неопходни су за раст и сазревање мозга. Синтеза тироидних хормона контролисана је тиреостимулишућим хормоном (ТСХ); поремећаји у његовој регулацији могу довести до хипотиреозе или хипертиреозе. Циљ овог истраживања био је да се испита хистолошка организација штитне жлезде у условима експериментално индуковане системске хипотиреозе. У истраживању су коришћени мужјаци Wistar пацова, при чему је број јединки у свакој групи био $n = 6$. Животиње су држане у стандардним лабораторијским условима и храњене комерцијалном храном за глодаре. Контролна група (С) имала је слободан приступ води са чесме, док је код експерименталне групе (М) хипотиреоза изазвана давањем 0,02% раствора метимазола у води за пиће. На крају треће недеље експеримента штитне жлезде су изоловане и рутински обрађене за светлосну микроскопију. Пресеци ткива бојени су хематоксилином и еозином ради приказа опште хистолошке организације, као и Новелијевом методом ради приказа васкуларизације. Морфометријска анализа извршена је помоћу софтвера ImageJ и обухватала је мерење површина појединачних фоликула, фоликуларних лумена и фоликуларног епитела, као и висине епитела. Подаци су приказани као средња вредност $\pm$ СЕМ. Хистоморфолошка анализа показала је да су фоликули у С групи округлог или овалног облика и испуњени колоидом. Ћелије фоликуларног епитела (тиреоцити) углавном су коцкастог, а понекад и плочастог облика. У М групи типична фоликуларна структура је изгубљена. Ремоделирано ткиво штитне жлезде претежно садржи делимично или потпуно празне фоликуле, при чему цилиндрични тироцити често формирају инвагинацију ка лумену на једној страни фоликула. Васкуларизација је појачана, са проширеним крвним судовима испуњеним еритроцитима. Врло мали фоликули, односно микрофоликули, присутни су чешће него у С групи. У М групи Студентов t -тест показао је статистички значајно смањење површине појединачних фоликула ($4,74 \pm 0,305 \mu\text{m}^2$ у С групи и $2,77 \pm 0,247 \mu\text{m}^2$ у М групи) и фоликуларног лумена ($2,97 \pm 0,271 \mu\text{m}^2$ у С групи и $0,94 \pm 0,162 \mu\text{m}^2$ у М групи), као и повећање висине епитела ($6,54 \pm 0,147 \mu\text{m}$ у С групи и $12,23 \pm 0,306 \mu\text{m}$ у М групи). Ове хистолошке промене у складу су са системском хипотиреозом и континуираном стимулацијом ТСХ-ом. Ово је нарочито уочљиво у хипертрофији, која се огледа у повећању висине епитела и представља карактеристично обележје активације тироцита. Међутим, због инхибиторног дејства метимазола на синтезу тироидних хормона, може се очекивати постепено функционално исцрпљивање паренхима штитне жлезде.

Кључне речи: штитна жлезда, хипотиреоза, светлосна микроскопија, морфометрија.

Methimazole-Induced Hypothyroidism Affects Histological Organisation of Thyroid Gland in Rats

Mirela Ukropina^{1}, Marija Đurđević¹ and Maja Čakić-Milošević¹*

¹ University of Belgrade, Faculty of Biology, Institute of Zoology, Belgrade, Serbia

* mirela@bio.bg.ac.rs

The thyroid gland is an endocrine gland that secretes the hormones triiodothyronine and tetraiodothyronine (thyroxine). These hormones regulate body heat production and basal metabolic rate and are essential for brain growth and maturation. The synthesis of thyroid hormones is controlled by thyroid-stimulating hormone (TSH); disorders can lead to hypothyroidism or hyperthyroidism. The aim of this study was to investigate the histological organisation of the thyroid gland in experimentally induced systemic hypothyroidism. Male *Wistar* rats were used, with $n = 6$ for each group. Animals were kept under standard laboratory conditions and fed commercial rodent food. The control group (C) had free access to tap water, while the experimental group (M) was rendered hypothyroid with a 0.02% methimazole solution in drinking water. At the end of the third week of the experiment, thyroid glands were isolated and routinely processed for light microscopy. Tissue sections were stained with haematoxylin and eosin to demonstrate general histological organisation, and with the Novelli method to demonstrate vascularisation. Morphometric analysis was performed using ImageJ software and included measurements of the surface areas of individual follicles, follicular lumens, and follicular epithelium, as well as epithelial height. Data are reported as mean $\pm$ SEM. Histomorphological analysis showed that follicles in the C group are round or oval and filled with colloid. The follicular epithelium cells (thyrocytes) are mostly cuboidal, sometimes squamous. In the M group, the typical follicular structure is lost. The remodelled thyroid parenchyma predominantly contains partially or completely empty follicles, with cylindrical thyrocytes often forming an invagination into the lumen on one side of the follicle. Vascularisation is increased, with dilated blood vessels filled with red blood cells. Very small follicles, or microfollicles, are more frequently present than in the C group. In the M group, Student's t-test showed a statistically significant reduction in the surface area of individual follicles ($4.74 \pm 0.305 \mu\text{m}^2$ in the C group and $2.77 \pm 0.247 \mu\text{m}^2$ in the M group) and the follicular lumen ($2.97 \pm 0.271 \mu\text{m}^2$ in the C group and $0.94 \pm 0.162 \mu\text{m}^2$ in the M group), as well as an increase in epithelial height ($6.54 \pm 0.147 \mu\text{m}$ in the C group and $12.23 \pm 0.306 \mu\text{m}$ in the M group). These histological changes are consistent with systemic hypothyroidism and ongoing stimulation by TSH. This is particularly evident in hypertrophy, indicated by increased epithelial height, which is a hallmark of thyrocyte activation. However, due to methimazole's inhibitory effect on thyroid hormone synthesis, gradual functional exhaustion of the thyroid parenchyma can be expected.

Keywords: thyroid gland, hypothyroidism, light microscopy, morphometry.

Висока концентрација декстроze индукује оксидативни стрес у цреву пацова: улога Nrf2/HMGB1/NF-κB пута

Ксенија Величковић^{1}, Анђелија Гудељ², Невена Савић², Весна Оташевић², Милица Маркелић¹, Ана Станчић² и Илијана Григоров²*

¹ Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Катедра за биологију ћелија и ткива, Београд, Србија

² Универзитет у Београду, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Одељење за молекуларну биологију, Београд, Србија

* ksenija@bio.bg.ac.rs

Повећан унос рафинисаних шећера, међу којима је и декстроза, представља значајан здравствени проблем повезан саризиком од дијабетеса и других обољења. Хипергликемија повећава продукцију реактивних врста кисеоника (ROS), док прекомерно нагомилавање гвожђа додатно подстиче липидну пероксидацију и акумулацију 4-хидроксиноненала (4-HNE). Циљ ове студије је да се испитају ефекти осмонедељне исхране обogaћене декстрозом (20% или 60%) на метаболичке параметре крви, акумулацију гвожђа и липидну пероксидацију у цреву пацова соја Wistar, старости 3 (млади) и 16 (адулти) месеци. Поред тога, испитана је експресија Nrf2, редокс сензитивног фактора као и инфламаторних маркера, NF-κB и HMGB1. Све експерименталне групе су имале по 8 животиња. У последњој недељи експеримента је урађен тест оптерећења глукозом, а ткиво црева је након завршетка експеримента припремљено за посматрање на нивоу светлосне микроскопије. Детекција 4-HNE адукта, као и експресија Nrf2, NF-κB и HMGB1 детектована је имунохистохемијском методом. За статистичку обраду података коришћен је GraphPad Prism 8 софтверски пакет, уз употребу двосмерне анализе варијансе (two-way ANOVA). За граничну вредност статистичке значајности је узето $p < 0,05$. Третман декстрозом није изазвао значајне промене код пацова старости 3 месеца, као ни код адултих пацова третираних 20% декстрозом. Иако је телесна маса остала непромењена, унос 60% декстроze је довео до прираста телесне масе код адултих пацова, смањено уносе хране, повећао унос течности и повећао укупан калоријски унос у поређењу са контролном, нетретираном групом ($p < 0,001$; све). Адултни пацови изложени 60% декстрози показали су нетолеранцију на глукозу, што је потврђено вишим нивоима глукозе у крви током IPGTT теста и повећаном AUC вредношћу у поређењу са контролом ($p < 0,05$). Међутим, вредности глукозе, инсулина и НОМА-IR остале су у границама нормале, што указује на одсуство инсулинске резистенције. Даље, декстрозом обogaћена исхрана (60% код адулта) нарушила је хомеостазу гвожђа у танком цреву, што је довело до повећане унутарћелијске акумулације гвожђа у епителним, имуним и нервним ћелијама. На нивоу светлосне микроскопије уочена је и повећана акумулација 4-HNE, што указује на појачану липидну пероксидацију. Поред тога, уочена је статистички значајна транслокација HMGB1 у цитоплазму и Nrf2 у нуклеусе у адултној групи третираној са 60% декстрозом у поређењу са одговарајућом контролом ($p < 0,001$). Насупрот томе, одрасли пацови изложени високој концентрацији декстроze показали су смањен удео NF-κB имунопозитивних нуклеуса ($p < 0,001$) у поређењу са контролом. Узети заједно, резултати ове студије показују да повећан унос декстроze (60%), за разлику од осталих третмана доводи до нетолеранције адултих пацова на глукозу, повећане акумулације јона гвожђа

у ентероцитима црева, и повећане липидне пероксидације. На молекулском нивоу, ове промене су праћене активацијом проинфламаторног молекула HMGB1, и повећане нуклеусне експресије Nrf2, што одражава активацију антиоксидативних одбрамбених механизма против оксидативног стреса. Смањен удео NF-κB имунопозитивних нуклеуса у адултној групи третираним са 60% декстрозом иде у прилог постојећој литератури која указује да Nrf2 може да супримира NF-κB активност у циљу успостављања инфламаторне и редокс равнотеже, при чему млађе животиње показују јачу инфламаторну активацију, док адултне испољавају компензаторни антиоксидативни одговор. *Захвалница:* Овај рад је финансиран од стране Министарства за науку, технолошки развој и иновације Републике Србије (број уговора: 451-03-33/2026-03/200007).

Кључне речи: црево, декстроza, оксидативни стрес, инфламација.

High Concentration of Dextrose Induces Oxidative Stress in the Rat Intestine: Role of Nrf2/HMGB1/NF-κB Pathway

Ksenija Veličković^{1*}, Anđelija Gudelj², Nevena Savić², Vesna Otašević², Milica Markelić¹, Ana Stančić² and Ilijana Grigorov²

¹ University of Belgrade, Faculty of Biology, Department of Cell and Tissue Biology, Belgrade, Serbia

² University of Belgrade, Institute for Biological Research "Siniša Stanković" – National Institute of the Republic of Serbia, Department of Molecular Biology, Belgrade, Serbia

* ksenija@bio.bg.ac.rs

Increased consumption of refined sugars, including dextrose, is a significant health concern linked to the risk of diabetes and other diseases. Hyperglycemia increases the production of reactive oxygen species (ROS), while excessive iron accumulation further promotes lipid peroxidation and the accumulation of 4-hydroxynonenal (4-HNE). This study aimed to investigate the effects of an eight-week dextrose-enriched diet (20% or 60%) on blood metabolic parameters, iron accumulation, and lipid peroxidation in the intestines of 3-month-old (young) and 16-month-old (adult) Wistar rats. Additionally, the expression of Nrf2, a redox-sensitive factor, and the inflammatory markers NF-κB and HMGB1 was examined. Each experimental group comprised eight animals. During the final week, an intraperitoneal glucose tolerance test (IPGTT) was performed, and intestinal tissue was prepared for light microscopy analysis after the experiment. Detection of 4-HNE adducts and the expression of Nrf2, NF-κB, and HMGB1 was assessed using immunohistochemistry. Statistical analysis was conducted using the GraphPad Prism 8 software package with two-way ANOVA. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Dextrose treatment did not induce significant changes in 3-month-old rats or in adult rats treated with 20% dextrose. Although body weight remained unchanged in most groups, 60% dextrose intake led to body weight gain in adult rats, reduced food intake, increased fluid intake, and higher total caloric intake compared to the untreated control group ($p < 0.001$; for all). Adult rats exposed to 60% dextrose exhibited glucose intolerance, confirmed by higher blood glucose levels during the IPGTT and increased AUC values compared to controls ($p < 0.05$). However, glucose, insulin, and HOMA-IR values remained within the normal range, indicating the absence of insulin resistance. Furthermore, a dextrose-enriched diet (60% in adults) disrupted iron homeostasis in the small intestine, resulting in increased intracellular

iron accumulation in epithelial, immune, and neuronal cells. Light microscopy also revealed increased accumulation of 4-HNE, indicating enhanced lipid peroxidation. In addition, a statistically significant translocation of HMGB1 into the cytoplasm and Nrf2 into the nuclei was observed in the adult group treated with 60% dextrose compared to the corresponding control group ($p < 0.001$). In contrast, adult rats exposed to a high concentration of dextrose showed a reduced proportion of NF- κ B-immunopositive nuclei ($p < 0.001$) compared to controls. In summary, the results of this study demonstrate that increased dextrose intake (60%), unlike the other treatments, induces glucose intolerance in adult rats, promotes iron ion accumulation in intestinal enterocytes, and enhances lipid peroxidation. At the molecular level, these changes were accompanied by activation of the proinflammatory molecule HMGB1 and increased nuclear expression of Nrf2, reflecting the activation of antioxidant defence mechanisms against oxidative stress. The reduced proportion of NF- κ B-immunopositive nuclei in the adult group treated with 60% dextrose is consistent with existing literature suggesting that Nrf2 may suppress NF- κ B activity to maintain inflammatory and redox balance, with younger animals exhibiting stronger inflammatory activation, while adult animals display a compensatory antioxidant response. *Acknowledgements:* This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Contract no. 451-03-33/2026-03/200007).

Keywords: intestine, dextrose, rats, oxidative stress.

Биоактивни потенцијал *Fistulina hepatica*: антимикробна активност и инхибиција циклооксигеназе (COX)

**Леа Малешевић^{1*}, Дијана Алексић¹, Милана Ракић², Марина Панић¹,
Маја Караман², Сања Крстић³ и Милена Рашиета¹**

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за биологију и екологију, ProFungi Лабораторија, Нови Сад, Србија

³ Универзитет у Грацу, Институт фармацеутских наука, Грац, Аустрија

* leamalesevic11@gmail.com

Јестиве макрогљиве представљају важне резервоаре нутрацеутика и фармаколошки активних једињења. У овој студији, испитана су четири екстракта врсте *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With. 1801, укључујући фракцију богату полисахаридима и екстракте добијене коришћењем 70% етанола (EtOH), 80% метанола (MeOH) и хлороформа (CHCl₃), како би се проценила њихова антиинфламаторна и антимикробна својства. Антиинфламаторна активност је одређена испитивањем инхибиције ензима циклооксигеназе (COX-1 и COX-2) применом колориметријског *in vitro* теста, док је антимикробна ефикасност процењена методом микродилуције против *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Escherichia coli*. Међу тестираним узорцима, екстракт CHCl₃ је показао највећу биоактивност, инхибирајући COX-1 за 37,5% и COX-2 за 70,8%, што је упоредиво

са дејством референтног инхибитора целекоксибом (66%). Поред тога, испољио је значајне антимикробне ефекте, са минималним инхибиторним концентрацијама (МИК) од 0,0125 mg/mL против *B. cereus* и *P. aeruginosa*, и 0,03125 mg/mL против *S. aureus*, иако бактерицидна (МБЦ) активност није забележена. Насупрот томе, остали екстракти су показали слабу или незнатну активност. Добијени резултати указују да макрогљива *F. hepatica* може представљати обећавајући природни извор једињења са двоструким деловањем, која испољавају селективну инхибицију COX-2 и антимикробни потенцијал, што подржава њену примену у развоју нутрацеутика.

Кључне речи: макрогљиве, биоактивна једињења, антиинфламаторна активност, COX-1/COX-2, макрофунгални екстракти.

Bioactive Potential of *Fistulina hepatica*: Antimicrobial Activity and Cyclooxygenase (COX) Inhibition

Lea Malešević^{1*}, Dijana Aleksić¹, Milana Rakić², Marina Panić¹, Maja Karaman², Sanja Krstić³ and Milena Rašeta¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Biology and Ecology, ProFungi Laboratory, Novi Sad, Serbia

³ University of Graz, Institute of Pharmaceutical Sciences, Graz, Austria

* leamalesevic11@gmail.com

Edible macrofungi represent important reservoirs of nutraceuticals and pharmacologically active compounds. In this study, four extracts of *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With. 1801 were investigated, including a polysaccharide-rich fraction (PSH) and extracts obtained using 70% ethanol (EtOH), 80% methanol (MeOH), and chloroform (CHCl₃), to assess their anti-inflammatory and antimicrobial properties. Anti-inflammatory activity was assessed by evaluating cyclooxygenase inhibition (COX-1 and COX-2) using a colorimetric *in vitro* assay, while antimicrobial efficacy was determined by the microdilution method against *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Escherichia coli*. Among the tested samples, the CHCl₃ extract demonstrated the highest bioactivity, inhibiting COX-1 by 37.5% and COX-2 by 70.8%, which is comparable to the reference inhibitor celecoxib (66%). In addition, the extract exhibited notable antimicrobial effects, with minimum inhibitory concentrations (MICs) of 0.0125 mg/mL against *B. cereus* and *P. aeruginosa*, and 0.03125 mg/mL against *S. aureus*, although no bactericidal (MBC) activity was detected. In contrast, the remaining extracts showed minimal or no significant activity. The results of this study suggest that *F. hepatica* may serve as a promising natural source of dual-function agents with selective COX-2 inhibitory and antimicrobial potential, supporting its potential application in nutraceutical development.

Keywords: macrofungi, bioactive compounds, anti-inflammatory activity, COX-1/COX-2, macrofungi extracts.

Развој хармонизованог алата за аутоматизовани израчун Еленбергових индикаторских вриједности

Лејла Мујакић^{1*} и Кенан Коњић²

¹ Универзитет у Тузли, Природно-математички факултет, Тузла, Босна и Херцеговина

² Технолошки институт Кјушу, Китакушу, Јапан

* lejlamujakic@gmail.com

Еленбергове индикаторске вриједности широко се користе за процјену услова животне средине и еколошких градијената на основу састава биљних врста. Ови индикатори описују одговор врста на седам еколошких фактора: температуру (Т), влажност (W), реакцију земљишта (R), снабдјевеност азотом (N), свјетлост (L), континенталност (K) и салинитет (S). Да би се добила поуздана процјена станишних услова, индикаторске вриједности морају се комбиновати са подацима о бројности врста, који се најчешће изражавају коришћењем скале покривности и бројности Вестхоф–ван дер Марела (Westhoff–van der Maarel). Упркос широкој примјени у истраживањима вегетације, израчунавање Еленбергових индикаторских вриједности често је отежано због непотпуних скупова података, разлика између регионалних система индикатора и недостатка стандардизованог алата заснованог на хармонизованим подацима на европском нивоу. Циљ овог истраживања био је развој софтверског алата који омогућава стандардизован и аутоматизован израчун Еленбергових индикаторских вриједности коришћењем хармонизоване базе података европских васкуларних биљака. Алат превазилази ограничења повезана са недостајућим индикаторским вриједностима за поједине таксоне и употребом регионалних база података које не представљају на адекватан начин вегетацију изван централне и западне Европе. Интеграцијом хармонизованих индикаторских вриједности у јединствену платформу, развијени приступ побољшава досљедност и упоредивост еколошких анализа. Софтвер је заснован на бази података „Ellenberg-type indicator values for European vascular plants“, која садржи приближно 9.000 јединствених таксона и обједињује индикаторске вриједности из 13 раније објављених база података. Номенклатура врста стандардизована је у складу са базом Euro+Med PlantBase, док су недостајуће или недефинисане вриједности досљедно третиране током израчунавања. Ради лакше практичне примјене, апликација укључује функције претраге таксона и аутоматског допуњавања уноса, што омогућава ефикасан рад са подацима заснованим на Вестхоф–ван дер Мареловој скали бројности и покривности. Главни допринос овог рада огледа се у успостављању јединственог оквира за израчунавање хармонизованих Еленбергових индикаторских вриједности за широк спектар европских васкуларних биљака. За разлику од постојећих приступа који се ослањају на статистички софтвер опште намјене, развијени алат представља специјализовано рјешење намијењено анализи вегетације. Добијена апликација поједностављује обраду података, смањује недосљедности које произлазе из недоступних или нестандардизованих индикаторских вриједности и повећава ефикасност еколошких процјена. Развијени алат представља практичан ресурс за истраживаче и стручњаке у области заштите животне средине који се баве проучавањем вегетације, процјеном станишта и еколошким мониторингом. Обезбјеђујући стандардизован метод за израчунавање хармонизованих Еленбергових индикаторских вриједности, он доприноси повећању поузданости, репродуктивности и

упоредивости анализа животне средине заснованих на вегетацији. Алат подржава примјену у процјени вегетације и станишта, вредновању квалитета земљишта, еколошком мониторингу и фитоценолошким истраживањима која се користе у управљању животном средином и планирању заштите природе.

Кључне ријечи: Еленбергове индикаторске вриједности, васкуларне биљке, биљне заједнице, еколошка анализа, хармонизована скала.

Development of a Harmonized Tool for Automated Calculation of Ellenberg-Type Indicator Values

Lejla Mujakić^{1} and Kenan Konjić²*

¹ University of Tuzla, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

² Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Japan

* lejlamujakic@gmail.com

Ellenberg indicator values are widely used for assessing environmental conditions and ecological gradients based on plant species composition. These indicators describe species responses to seven environmental variables: temperature (T), moisture (W), soil reaction (R), nitrogen supply (N), light (L), continentality (K), and salinity (S). To obtain a reliable assessment of habitat conditions, indicator values must be combined with species abundance data, commonly expressed using the Westhoff–van der Maarel cover-abundance scale. Despite their broad application in vegetation science, the calculation of Ellenberg-type indicator values is often complicated by incomplete datasets, differences among regional indicator systems, and the absence of a standardized tool based on harmonized European-scale data. The aim of this research was to develop a software tool that enables standardized and automated calculation of Ellenberg-type indicator values using a harmonized database of European vascular plants. The tool addresses limitations associated with missing indicator values for certain taxa and the use of regional datasets that may not adequately represent vegetation beyond Central and Western Europe. By integrating harmonized indicator values into a single platform, the developed approach improves the consistency and comparability of ecological analyses. The software is based on the database “Ellenberg-type indicator values for European vascular plants,” which contains approximately 9,000 unique taxa and incorporates indicator values from 13 previously published datasets. Species nomenclature was standardized according to Euro+Med PlantBase, while missing or undefined values were handled consistently throughout the calculations. To facilitate practical use, the application includes taxon search and autocomplete functions, allowing efficient data entry based on the Westhoff–van der Maarel abundance and cover scale. The main contribution of this work is the creation of a unified framework for calculating harmonized Ellenberg-type indicator values across a broad range of European vascular plants. Unlike existing workflows that rely on general-purpose statistical software, the developed tool provides a dedicated solution specifically designed for vegetation analysis. The resulting application simplifies data processing, reduces inconsistencies arising from unavailable or non-standardized indicator values, and improves the efficiency of ecological assessments. The developed tool represents a practical resource for researchers and environmental professionals involved in

vegetation studies, habitat assessment, and ecological monitoring. By providing a standardized method for calculating harmonized Ellenberg-type indicator values, it contributes to improving the reliability, reproducibility, and comparability of vegetation-based environmental analyses. The tool supports applications in vegetation and habitat assessment, land-quality evaluation, ecological monitoring, and phytocoenological studies used in environmental management and conservation planning.

Keywords: Ellenberg indicator values, vascular plants, plant communities, ecological analysis, harmonized scale.

Вјештачке баште као одговор на климатске промјене

Тања Максимовић^{1} и Дино Хасанагић¹*

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* tanja.maksimovic@pmf.unibl.org

У последњој деценији вјештачке баште све више привлаче пажњу као иновативан модел за ублажавање негативних ефеката климатских промјена, као и савремен приступ одрживој и технолошки унапријеђеној производњи хране. У контексту убрзаних климатских промјена, које се манифестују кроз пораст глобалних температура, све учесталијој суши и губитку биодиверзитета, јавља се потреба за развојем отпорнијих и ресурсно ефикаснијих пољопривредних система. Вјештачке баште одговарају на ове изазове кроз интеграцију еколошких принципа, савременог архитектонског дизајна и напредних технолошких рјешења, омогућавајући контролисан узгој биљака независан од спољашњих климатских услова чиме се обезбјеђује стабилна, континуирана и цјелогодишња производња хране. Примјеном технологија као што су хидропонија, аеропонија, LED расвјета, сензорски системи и вјештачка интелигенција, омогућава се прецизна контрола физиолошких процеса биљака. На тај начин постиже се већа продуктивност уз значајно смањење потрошње воде, енергије и употребе пестицида. Поред тога, овакви системи доприносе побољшању квалитета ваздуха и смањењу ефекта урбаних острва топлоте. Циљ рада је анализа савремених концепата и технологија вјештачких башти, као и процјена њиховог значаја за одрживу пољопривреду, урбани развој и смањење негативних утицаја климатских промјена. Посебан акценат стављен је на улогу аутоматизације, биотехнологије и вјештачке интелигенције у унапређењу ефикасности и одрживости система производње хране. Истраживање је засновано на квалитативној, дескриптивној и компаративној анализи научне и стручне литературе, као и релевантних дигиталних извора из области урбане пољопривреде и савремених система узгоја. Подаци су прикупљени из научних радова, електронских база података (као што су Google Scholar и ScienceDirect), стручних публикација, као и доступних интернет извора из области урбане пољопривреде и савремених система узгоја. Резултати истраживања показују да вјештачке баште имају значајан потенцијал за трансформацију савремене пољопривреде,

нарочито у урбаним срединама са ограниченим ресурсима и израженим еколошким изазовима. Кључни резултати указују на могућност значајног смањења потрошње воде и употребе пестицида, повећања продуктивности и обезбјеђивања континуиране производње хране током цијеле године. Такође, потврђен је њихов позитиван утицај на урбане екосистеме кроз смањење емисије CO₂ и побољшање квалитета животне средине. Интеграцијом биотехнологије, аутоматизације и вјештачке интелигенције, вјештачке баште представљају кључни корак ка одрживијим и технолошки напреднијим системима производње хране. На основу спроведене анализе може се закључити да вјештачке баште представљају значајан и перспективан правац развоја савремених пољопривредних система, посебно у урбаним срединама суоченим са изазовима климатских промјена и ограничених ресурса. Њихова способност да обезбиједе контролисану, стабилну и ресурсно ефикасну производњу хране чини их важним елементом одрживе пољопривреде.

Кључне ријечи: вјештачке баште, климатске промјене, одржива пољопривреда, смањење емисије CO₂.

Artificial Gardens as a Response to Climate Change

Tanja Maksimović^{1*} and Dino Hasanagić¹

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* tanja.maksimovic@pmf.unibl.org

In the last decade, artificial gardens have increasingly attracted attention as an innovative model for mitigating the negative effects of climate change, as well as a modern approach to sustainable and technologically advanced food production. In the context of accelerated climate change, manifested through rising global temperatures, more frequent droughts, and biodiversity loss, there is a growing need to develop more resilient and resource-efficient agricultural systems. Artificial gardens respond to these challenges through the integration of ecological principles, modern architectural design, and advanced technological solutions, enabling controlled plant cultivation independent of external climatic conditions and ensuring stable, continuous, and year-round food production. Through the application of technologies such as hydroponics, aeroponics, LED lighting, sensor systems, and artificial intelligence, precise control of plant physiological processes is achieved. In this way, higher productivity is attained alongside a significant reduction in water and energy consumption, as well as pesticide use. In addition, such systems contribute to improved air quality and the reduction of the urban heat island effect. The aim of this paper is to analyze contemporary concepts and technologies of artificial gardens and to assess their importance for sustainable agriculture, urban development, and the reduction of the negative impacts of climate change. Special emphasis is placed on the role of automation, biotechnology, and artificial intelligence in improving the efficiency and sustainability of food production systems. The research is based on a qualitative, descriptive, and comparative analysis of scientific and professional literature, as well as relevant digital sources in the fields of urban agriculture and modern cultivation systems. Data were collected from scientific papers, electronic databases such as Google Scholar and ScienceDirect, pro-

fessional publications, and available online sources related to urban agriculture and modern cultivation systems. The research results indicate that artificial gardens have significant potential to transform modern agriculture, particularly in urban environments with limited resources and pronounced environmental challenges. The key findings point to the possibility of substantially reducing water consumption and pesticide use, increasing productivity, and ensuring continuous year-round food production. Furthermore, their positive impact on urban ecosystems has been confirmed through the reduction of CO₂ emissions and the improvement of environmental quality. By integrating biotechnology, automation, and artificial intelligence, artificial gardens represent an important step toward more sustainable and technologically advanced food production systems. Based on the conducted analysis, it can be concluded that artificial gardens represent a significant and promising direction in the development of modern agricultural systems, particularly in urban areas facing the challenges of climate change and limited resources. Their ability to provide controlled, stable, and resource-efficient food production makes them an important component of sustainable agriculture.

Keywords: artificial gardens, climate change, sustainable agriculture, CO₂ emission reduction.

Прелиминарни резултати испитивања сезонске динамике и састава заједнице зоопланктона на Рамсарском подручју Бардача

Јелена Димитријевић¹, Дубравка Шкраба Јурлина^{1}, Рајко Рољић²
и Вера Николић¹*

¹ Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Београд, Србија

² Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република
Српска, Босна и Херцеговина

* dubravka@bio.bg.ac.rs

Подручје Бардаче представља јединствен екосистем настао интеракцијом бројних природних и антропогених фактора. Локација и утицај река Саве и Врбаса директно су утицали на генезу геолошке структуре, што се даље одразило на педолошке карактеристике које су предодредиле развој флоре и фауне овог подручја. Комплексна структура терена диктира и хидролошке карактеристике, које су одредиле хидролошки режим значајан за развој мочварног станишта. Поред наведених природних карактеристика, неопходно је нагласити да је у последњих 50 година антропогени утицај, с једне стране, осигурао опстанак и развој екосистема, док га је, с друге стране, деградирао. Овај конфликт различитих просторних утицаја присутан је и данас. Хитно је потребна обнова овог осетљивог екосистема како би се повратио биодиверзитет, привукло интересовање научника и туриста, и подстакао економски развој овог подручја. Један од показатеља стања биодиверзитета је и састав заједнице зоопланктона, нарочито у новоформираним воденим површинама. Циљ истраживања је да се по први пут утврди састав ове специфичне заједнице током више сезона. За ова истраживања узети су узорци у две сезоне, јесен 2025. и пролеће 2026. године помоћу две планктонске мреже промера окца 50 µm и 75 µm.

Узорак је фиксиран помоћу 70% етанола и посматран под микроскопом Leica DM1000 LED, при увећању од 600 пута. Након детерминације у узорку од 18. 09. 2025. утврђени су следећи таксони: Protista (Euglenozoa, Arcellinida), као и Cladocera (*Chydorus* sp., *Daphnia/Alona* sp.). Представници Rotifera и Copepoda нису забележени. У узорку од 21. 04. 2026. констатовано је присуство следећих таксона: Protista (*Euglena* sp., *Phacus* sp.), Rotifera (*Keratella* sp.), Cladocera (*Bosmina* sp.), Copepoda (*Cyclops* sp.). Састав заједнице зоопланктона у новоформираној воденој површини у комплексу Бардача указује на чињеницу да свака истраживана група зоопланктона показује специфичне одговоре што зависи од хетерогености станишта и хидролошког стања подручја, и указују на важност типа микростаништа у заступљености и развоју специфичних заједница зоопланктона.

Кључне речи: Бардача, зоопланктон, сезонска динамика, прелиминарни резултати.

Preliminary Results of the Study on Seasonal Dynamics and Community Composition of Zooplankton in the Bardača Ramsar Site

Jelena Dimitrijević¹, Dubravka Škraba Jurlina^{1*}, Rajko Roljić² and Vera Nikolić¹

¹ University of Belgrade, Faculty of Biology, Belgrade, Serbia

² University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* dubravka@bio.bg.ac.rs

The Bardača area represents a unique wetland ecosystem formed through the interaction of numerous natural and anthropogenic factors. The location and the influence of the Sava and Vrbas rivers have directly shaped the geological structure, which in turn determined pedological characteristics and influenced the development of flora and fauna in this region. The complex terrain structure further dictates hydrological features, defining a regime essential for the maintenance of wetland habitats. However, during the past 50 years, anthropogenic impacts have played a dual role, both supporting ecosystem persistence and contributing to its degradation, resulting in an ongoing conflict of spatial influences that is still evident today. Consequently, restoration of this sensitive ecosystem is urgently required to enhance biodiversity, attract scientific and tourism interest, and support local economic development. One of the important indicators of biodiversity status is the composition of the zooplankton community, particularly in newly formed water bodies. The aim of this study was to determine, for the first time, the composition of this specific community across different seasons. Sampling was conducted during two periods, autumn 2025 and spring 2026, using plankton nets with mesh sizes of 50 µm and 75 µm. Samples were fixed in 70% ethanol and analyzed under a Leica DM1000 LED microscope at 600× magnification. The analysis of the sample collected on 18 September 2025 revealed the presence of the following taxa: Protista (Euglenozoa, Arcellinida), Cladocera (*Chydorus* sp., *Daphnia/Alona* sp.). Rotifera and Copepoda were not recorded in the sample. In the sample collected on 21 April 2026, the same major taxonomic groups were recorded: Protista (*Euglena* sp., *Phacus* sp.), Rotifera (*Keratella* sp.), Cladocera (*Bosmina* sp.), Copepoda (*Cyclops* sp.). The obtained results indicate that the zooplankton community composition in newly formed water bodies within the Bardača complex is strongly influenced by habitat heterogeneity and

hydrological conditions. Each investigated zooplankton group exhibits specific responses to environmental variability, highlighting the importance of microhabitat type in shaping the distribution and development of distinct zooplankton communities. These findings represent a preliminary contribution to understanding biodiversity patterns in this Ramsar site and provide a basis for future, more detailed investigations.

Keywords: Bardača, zooplankton, seasonal dynamics, preliminary results.

Разноврсност и просторна дистрибуција заједница копепода у Бококоторском заливу, јужни Јадран: значај за мониторинг климатских промена

Вера Вуканић^{1*} и Миодраг Маловић²

¹ Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици,
Природно-математички факултет, Катедра за биологију, Косовска Митровица, Србија

² Универзитет у Београду, Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета,
Београд, Србија

* vera.vukanic@pr.ac.rs

Копеподи су доминантна група зоопланктонских ракова у морским екосистемима и имају фундаменталну улогу у пелагијалним ланцима исхране, због чега представљају вредне индикаторе варијабилности животне средине и промена у екосистемима. Бококоторски залив, као полузатворени приобални систем у јужном Јадрану, под снажним је утицајем како вода отвореног мора тако и слатководних дотока, што ствара веома динамичне услове животне средине. Циљ овог истраживања био је да се испитају састав врста, разноврсност, хоризонтална дистрибуција и сезонска динамика заједница копепода, као и њихова повезаност са параметрима животне средине. Узорци зоопланктона прикупљани су месечно током 2012. године на четири станице узорковања смештене у централним деловима залива. Истовремено су мерени и анализирани температура, салинитет, рН вредност, растворени кисеоник, zasiћеност кисеоником, провидност воде и боја мора. Разноврсност врста процењена је помоћу Маргалефовог индекса разноврсности. Укупно је идентификовано 65 врста копепода, што потврђује висок биодиверзитет овог приобалног екосистема. Доминантне врсте биле су *Paracalanus parvus*, *Centropages kröyeri*, *Acartia clausi*, *Oithona nana*, *Microsetella norvegica*, *Euterpina acutifrons*, *Oncaea media* и *Oncaea subtilis*, које су чиниле приближно 39,6% укупне бројности копепода. Богатство врста смањивало се од спољашњих делова залива ка унутрашњим, затворенијим подручјима, док се бројност карактеристичних естуарско-неритских врста повећавала. Забележена су два сезонска максимума бројности: пролећни максимум повезан са повећаном бројношћу копепода и летњи максимум, пре свега условљен *Penilia avirostris* из групе Cladocera. Изражене сезонске флукуације температуре и салинитета, уз стално високу zasiћеност кисеоником, указивале су на повећану биолошку продуктивност и еутрофне услове у заливу. Појава копеподских врста отвореног мора у спољашњем делу залива одражавала је снажан утицај вода јужног Јадрана на структуру заједница. Резултати

указују на стабилне просторне и сезонске обрасце дистрибуције копепода, истовремено наглашавајући њихову осетљивост на варијабилност животне средине. Истраживања разноврсности зоопланктонских ракова, посебно копепода као доминантне таксономске групе, пружају вредне информације за откривање нових еколошких трендова повезаних са климатским променама. Дугорочно праћење заједница копепода стога представља важно средство за процену утицаја климатских промена, еутрофикације и антропогених притисака на приобалне екосистеме Јадранског мора и медитеранског региона.

Кључне речи: Copepoda, зоопланктонски ракови, биодиверзитет, сезонска динамика, Боко которски залив, јужни Јадран, климатске промене.

Diversity and Spatial Distribution of Copepod Communities In Boka Kotorska Bay (Southern Adriatic Sea): Implications for Climate Change Monitoring

Vera Vukanić^{1} and Miodrag Malović²*

¹ University of Priština in Kosovska Mitrovica, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Biology, Kosovska Mitrovica, Serbia

² University of Belgrade, Innovation Centre of Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia

* vera.vukanic@pr.ac.rs

Copepods are the dominant group of zooplankton crustaceans in marine ecosystems and play a fundamental role in pelagic food webs, making them valuable indicators of environmental variability and ecosystem change. Boka Kotorska Bay, a semi-enclosed coastal system in the Southern Adriatic Sea, is strongly influenced by both open-sea waters and freshwater inputs, creating highly dynamic environmental conditions. The aim of this study was to investigate the species composition, diversity, horizontal distribution, and seasonal dynamics of copepod communities, as well as their relationship with environmental parameters. Zooplankton samples were collected monthly throughout 2012 at four sampling stations located in central parts of the bay. Simultaneously, temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, oxygen saturation, water transparency, and sea color were measured and analyzed. Species diversity was assessed using Margalef's diversity index. A total of 65 copepod species were identified, confirming the high biodiversity of this coastal ecosystem. The dominant species were *Paracalanus parvus*, *Centropages kröyeri*, *Acartia clausi*, *Oithona nana*, *Microsetella norvegica*, *Euterpina acutifrons*, *Oncaea media* and *Oncaea subtilis*, accounting for approximately 39.6% of the total copepod abundance. Species richness decreased from the outer parts of the bay toward the inner enclosed areas, while the abundance of characteristic estuarine-neritic species increased. Two seasonal abundance peaks were recorded: a spring maximum associated with increased copepod abundance and a summer maximum, primarily driven by the Cladocera *Penilia avirostris*. Marked seasonal fluctuations in temperature and salinity, together with consistently high oxygen saturation, indicated elevated biological productivity and eutrophic conditions within the bay. The occurrence of open-sea copepod species in the outer bay reflected the strong influence of Southern Adriatic waters on community structure. The results reveal stable spatial and seasonal patterns in copepod distribution while highlighting their sensitivity to environmental variability.

Studies of crustacean zooplankton diversity, particularly copepods as the dominant taxonomic group, provide valuable information for detecting emerging ecological trends associated with climate change. Long-term monitoring of copepod communities therefore represents an important tool for assessing the impacts of climate change, eutrophication, and anthropogenic pressures on coastal ecosystems of the Adriatic Sea and the Mediterranean region.

Keywords: Copepoda, Crustacea zooplankton, biodiversity, seasonal dynamics, Boka Kotorska Bay, Southern Adriatic Sea, climate change.

Макрозообентос изворишног дијела водотока Вријека у Дабарском пољу

Свјетлана Цвијић^{1}, Владан Вукајловић¹, Јелена Оборина¹ и Дејан Дмитровић¹*

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* svjetlana.cvijic@pmf.unibl.org

Ријека Вријека налази се у Источној Херцеговини на простору Републике Српске (југо-исток Босне и Херцеговине). Тече кроз Дабарско поље у дужини од око 2,5 km, након чега понире. У лјетним мјесецима највећи дио корита ове текућице је потпуно сув. Изузетак је изворишни дио тока, чији је живи свијет недовољно истражен. У вези с тим, основни циљ овог рада био је сагледавање квалитативног и квантитативног састава макрозообентоса изворишног дијела водотока Вријека. Анализирано је и стање одабраних абиотичких фактора ове текућице (температура воде, тип и покровност компонената дна – састав микростаништа). Теренски рад је реализован у августу 2019. и јануару 2020. године (лјетна и зимска сезона) на пет дионица дужине по 50 m. На тај начин истраживањем је обухваћено почетних 250 m тока ове текућице. Температура воде мјерена је термометром, а састав микростаништа одређен је пажљивим посматрањем површине дна. Мултихабитат узорковање макрозообентоса извршено је примјеном стандардне ручне мреже и Сурбер мреже. Узорци су фиксирани етанолом, а њихова анализа обављена је у лабораторији. Вриједности температуре воде кретале су се од 11,0 °C на свим дионицама у зимској сезони до 11,2 °C на свим дионицама у лјетној. Овакав температурни режим указује на изворске особине водотока Вријека дуж читавог потеза који је обухваћен истраживањем. Дно доминантно чине фракције минералне компоненте, које се идући низводно смјењују од најкрупнијих (мегалитал) до фракција величине пијеска (псамал). Органска компонента дна углавном је заступљена фиталом, претежно у виду маховина регистрованих на двије дионице. Квалитативном анализом узорака макрозообентоса пронађено је неколико десетина таксона различитог нивоа класификације, више у августу него у јануару. Средња вриједност броја јединки на јединицу површине дна износи 807,6 ind/m² у лјетној сезони, а 451,3 ind/m² у зимској, што се доводи у везу са промјеном укупне површине дна у различитим условима водостаја током године (снижен је у августу). Таксономски најзаступљенију групу чине представници Arthropoda, који бројчано доминирају на свим дионицама у обје сезоне. Густина њиховог насеља креће се у распону од 342 до 1696

ind/m², при чему је на већини дионица већа лјети него зими. У поређењу са осталим зглавкарима утврђено је да представници рода *Gammarus* бројчано доминирају на свим дионицама у зимској сезони, као и на већини дионица у лјетној. Представници класе Insecta заступљени су са највећим бројем таксона. Стање ЕРТ таксона (Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera), који су нарочито осјетљиви на загађење, указује на висок ниво квалитета воде изворишног дијела водотока Вријека. Све претходно наведено потврђује да макрозообентос изворишног дијела ове текућице одражава природне еколошке карактеристике, наглашавајући значај његовог очувања.

Кључне ријечи: макроинвертебрате, бентос, извор, хидроекологија, ријека Вријека.

Macrozoobenthos of the Spring Section of the Vrijeka Watercourse in Dabarsko Polje

Svetlana Cvijić^{1*}, Vladan Vukajlović¹, Jelena Oborina¹ and Dejan Dmitrović¹

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* svjetlana.cvijic@pmf.unibl.org

The Vrijeka River is located in Eastern Herzegovina, within the territory of the Republic of Srpska (southeastern Bosnia and Herzegovina). It flows through Dabarsko Polje for approximately 2.5 km before sinking underground. During the summer months, most of the riverbed becomes completely dry. An exception is the spring section of the watercourse, whose biota has been insufficiently studied. Therefore, the main objective of this study was to assess the qualitative and quantitative composition of the macrozoobenthos inhabiting the spring section of the Vrijeka River. In addition, selected abiotic factors were analysed, including water temperature and the type and coverage of substrate components (microhabitat composition). Fieldwork was conducted in August 2019 and January 2020 (summer and winter seasons) at five 50-m-long sections. Thus, the first 250 m of the watercourse were included in the study. Water temperature was measured using a thermometer, while microhabitat composition was determined through careful observation of the streambed surface. Macrozoobenthos sampling was performed using a standard hand net and a Surber sampler following the multihabitat sampling approach. Samples were preserved in ethanol and subsequently analysed in the laboratory. Water temperature ranged from 11.0 °C at all sections during the winter season to 11.2 °C at all sections during the summer season. Such a temperature regime indicates spring-like characteristics of the Vrijeka River throughout the entire investigated stretch. The streambed is predominantly composed of mineral substrate fractions, which gradually change downstream from the coarsest fractions (megallithal) to sand-sized fractions (psammal). The organic component of the substrate is mainly represented by phytal habitats, primarily in the form of mosses recorded at two sections. Qualitative analysis of macrozoobenthos samples revealed several dozen taxa of different taxonomic levels, with higher diversity recorded in August than in January. The mean density of individuals per unit area was 807.6 ind/m² in summer and 451.3 ind/m² in winter. This difference is associated with seasonal changes in the total streambed area under varying water-level conditions throughout the year, which were lower in August. Arthropods constituted the most taxonomically diverse group and numerically dominated at

all sections in both seasons. Their density ranged from 342 to 1,696 ind/m² and was generally higher in summer than in winter. Compared with other arthropods, representatives of the genus *Gammarus* were numerically dominant at all sections during winter and at most sections during summer. Members of the class Insecta were represented by the highest number of taxa. The status of EPT taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera), which are particularly sensitive to pollution, indicates a high level of water quality in the spring section of the Vrijeka River. Overall, the results confirm that the macrozoobenthos of this spring-fed section reflects natural ecological characteristics, highlighting the importance of its conservation.

Keywords: macroinvertebrates, benthos, spring, hydroecology, Vrijeka River.

Макрозообентос као биоиндикатор урбаног и индустријског загађења ријеке Јале у Тузли

**Елвира Хациахметовић Јурида^{1*}, Амра Икинић¹, Ена Незировић Омердић¹,
Маја Шибаревић² и Рајко Рољић²**

¹ Универзитет у Тузли, Природно-математички факултет, Тузла, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Босна и Херцеговина

* elvira.h.jurida@untz.ba

Макрозообентос представља једну од најзначајнијих биолошких компоненти у процјени еколошког стања слатководних екосистема, јер промјене у саставу и структури његових заједница поуздано одражавају ниво антропогеног оптерећења и квалитет воде. Истраживање је проведено у мају 2024. године на три локалитета ријеке Јале на подручју Тузле, дуж градијента урбаних и индустријских утицаја: Јала 1 (Горња Тузла), Јала 2 (Сипорекс) и Јала 3 (Машинска школа). Циљ истраживања био је процјена промјена у саставу макрозообентоса и еколошког стања водотока. Методологија је обухватила узимање једног једнократног узорка воде по локалитету за физичко-хемијску анализу и три биоценолошка узорка макрозообентоса по локалитету ради процјене структуре биолошких заједница и интегрисане оцјене квалитета воде. Анализа физичко-хемијских параметара и састава макрозообентоса указала је на постојање израженог лонгитудиналног градијента загађења дуж тока ријеке Јале у Тузли. Са порастом концентрација органских материја, азотних једињења, електропроводљивости и суспендованих честица, забиљежено је прогресивно смањење диверзитета макрозообентоса и повећање удјела толерантних организама, посебно представника породице Chironomidae. На узводном локалитету присутна је ограничена разноликост бентоске заједнице, док средњи и низводни дијелови тока показују изражену доминацију организама отпорних на органско оптерећење, што кулминира потпуном доминацијом Chironomidae на локалитету Јала 3. Овакви резултати јасно потврђују снажан утицај урбаних и индустријских отпадних вода на деградацију еколошког стања ријеке Јале и указују на значај макрозообентоса као поузданог биоиндикатора квалитета површинских вода.

Кључне ријечи: макрозообентос, биоиндикатори, антропогено загађење, ријека Јала, Тузла.

Macrozoobenthos as a Bioindicator of Urban and Industrial Pollution of the Jala River in Tuzla

Elvira Hadžiahmetović Jurida^{1}, Amra Ikinić¹, Ena Nežirović Omerdić¹, Maja Šibarević² and Rajko Roljić²*

¹ University of Tuzla, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

² University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

* elvira.h.jurida@untz.ba

Macrozoobenthos represents one of the most significant biological components in assessing the ecological status of freshwater ecosystems, as changes in the composition and structure of its communities reliably reflect the level of anthropogenic stress and water quality. The study was conducted in May 2024 at three localities along the Jala River in the Tuzla area, following a gradient of urban and industrial impacts: Jala 1 (Gornja Tuzla), Jala 2 (Siporex), and Jala 3 (Mašinska škola). The aim of the research was to assess changes in the macrozoobenthos composition and the ecological status of the watercourse. The methodology included collecting a single grab water sample per locality for physico-chemical analysis and three biocenological macrozoobenthos samples per locality to evaluate the structure of biological communities and provide an integrated assessment of water quality. The analysis of physico-chemical parameters and macrozoobenthos composition indicated the presence of a pronounced longitudinal pollution gradient along the course of the Jala River in Tuzla. With the increase in concentrations of organic matter, nitrogen compounds, electrical conductivity, and suspended solids, a progressive decrease in macrozoobenthos diversity and an increase in the proportion of tolerant organisms, particularly representatives of the family Chironomidae, were recorded. At the upstream locality, a limited diversity of the benthic community was observed, while the middle and downstream sections of the river exhibited a marked dominance of organisms resistant to organic pollution, culminating in the complete dominance of Chironomidae at the Jala 3 locality. These results clearly confirm the strong impact of urban and industrial wastewater on the degradation of the ecological status of the Jala River and highlight the importance of macrozoobenthos as a reliable bioindicator of surface water quality.

Keywords: macrozoobenthos, bioindicators, anthropogenic pollution, Jala River, Tuzla.

Гмизавци Рамсарског подручја Бардача – списак врста са еколошким и конзервационим подацима

Горан Шукало^{1*} и Дејан Дмитровић¹

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* goran.sukalo@pmf.unibl.org

У Републици Српској, Рамсарско подручје Бардача представља једино мочварно подручје уврштено на Рамсарску листу, као и једино подручје од међународног значаја за птице (IBAs – *Important Bird Areas*). Досадашња истраживања кичмењака овог подручја била су примарно фокусирана на рибе, птице и водоземце. Циљ овог рада био је израда фаунистичког списка гмизаваца Рамсарског подручја Бардача, заснованог на доступним литературним подацима и вишегодишњим теренским истраживањима аутора, уз разматрање одређених еколошких аспеката и конзервационог статуса забиљежених врста. Теренска истраживања спроведена су у периоду од 2011. до 2025. године. Примењен је метод трансекта, а истраживање је реализовано у различитим временским условима и у различитим временским интервалима током дана. Гмизавци су хватани руком или помоћу ручне мреже причвршћене на дуги штап. Након хватања јединке су фотографисане, идентификоване помоћу стандардне херпетолошке литературе и пуштене на мјесто гдје су и ухваћене. На основу вишегодишњих теренских истраживања утврђено је поуздано присуство седам аутохтоних врста гмизаваца (*Emys orbicularis*, *Anguis fragilis*, *Lacerta viridis*, *Podarcis muralis*, *Natrix natrix*, *Natrix tessellata* и *Vipera berus*), а забиљежена је и једна јединка алохтоне црвеноухе корњаче (*Trachemys scripta*). Доминантне врсте гмизаваца током теренских истраживања биле су бјелоушка (*N. natrix*) и барска корњача (*E. orbicularis*). С друге стране, шарка (*V. berus*) је пронађена два пута, док је рибарица (*N. tessellata*) забиљежена само једном. Током теренских истраживања уочен је интензиван антропогени притисак и значајан губитак станишта, што је резултирало примјетним падом бројности доминантних врста гмизаваца на истраживаном подручју. Према литературним подацима за истраживано подручје наводи се налаз једне јединке алохтоне мекооклопне корњаче (*Pelodiscus sinensis*), те живородног гуштера (*Zootoca vivipara*). Услјед искључиво појединачних налаза алохтоних врста корњача на истраживаном подручју, као и одсуства документованих репродуктивних популација у Републици Српској, ове врсте се не би требале сматрати дијелом фауне гмизаваца Рамсарског подручја Бардача. С друге стране, присуство врсте *Z. vivipara* највјероватније је засновано на погрешној идентификацији. Према IUCN црвеној листи угрожених таксона, барска корњача налази се у категорији готово угрожених – „NT“, док преосталих шест врста гмизаваца има статус најмање забрињавајућих – „LC“. Двије врсте гмизаваца које насељавају истраживано подручје су строго заштићене у Републици Српској. Једна забиљежена врста је обухваћена Анексом II Европске директиве о стаништима, а четири врсте Анексом IV. Четири пронађене врсте су уврштене у Апендикс II Бернске конвенције, док су три врсте обухваћене Апендиксом III. Упркос изостанку формалне заштите на ентитетском и државном нивоу, структура херпетофауне Рамсарског подручја Бардача, укључујући заштићене и угрожене врсте од националног и међународног значаја, у комбинацији са уоченим антропогеним притисцима, појавом алохтоних и падом бројности раније честих врста, указује на висок

конзервацијски значај овог подручја и потребу његове адекватне заштите.

Кључне ријечи: Бардача – мочварни комплекс, фауна гмизаваца, угрожене врсте, заштићене врсте, алохтоне корњаче.

Reptiles of the Bardača Wetland Ramsar Site – Species Checklist with Ecological and Conservation Data

Goran Šukalo^{1*} and Dejan Dmitrović¹

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka,
Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* goran.sukalo@pmf.unibl.org

Within the Republic of Srpska, the Ramsar Site Bardača Wetland is the only wetland area included in the Ramsar List and the only area of international importance for birds (IBAs – Important Bird Areas). The previous studies on vertebrates of this area were primarily focused on fishes, birds and amphibians. The goal of this study was to prepare a faunistic checklist of reptiles of Ramsar Site Bardača Wetlands, based on the available literature references as well as several years of original field research, with discussion of certain ecological aspects and conservation status of the recorded species. The field studies were conducted in period 2011–2025, using the method of transects, realized in various weather conditions and time intervals during the day. The reptiles were captured by hand or using a hand net attached to a long pole. After capture, individuals were photographed, identified by using standard herpetological literature and released to the same spot where they were captured. The multi-year field studies have proven presence of seven autochthonous species of reptiles (*Emys orbicularis*, *Anguis fragilis*, *Lacerta viridis*, *Podarcis muralis*, *Natrix natrix*, *Natrix tessellata* and *Vipera berus*), as well as one individual of allochthonous Red-eared Slider (*Trachemys scripta*). The dominant species recorded in this field study were Grass Snake (*N. natrix*) and European Pond Turtle (*E. orbicularis*). On the other hand, Adder (*V. berus*) was recorded twice and Dice Snake (*N. tessellata*) only once. The field research brought forth evidence of intensive anthropogenic pressure and significant loss of habitat, resulting in noticeable decrease in abundance of dominant reptile species in the study area. The literature references for the study area include records of single individuals of allochthonous Chinese Softshell Turtle (*Pelodiscus sinensis*) and Viviparous Lizard (*Zootoca vivipara*). As allochthonous turtle species were represented in the study area exclusively as single individuals, with a lack of documented reproductive populations in the Republic of Srpska, these species should not be considered part of reptile fauna of the Ramsar Site Bardača Wetland. On the other hand, reported presence of species *Z. vivipara* was most probably caused by misidentification. According to the IUCN Red List of Threatened Species, European Pond Turtle is included in the category of Near Threatened (NT), while the remaining six reptile species are in the Least Concern category (LC). Two reptile species inhabiting the study area have the status of strictly protected taxon in the Republic of Srpska. One species is included in Annex II of the European Habitats Directive, while four species are included in Annex IV. Four recorded species were included in Appendix II of the Bern Convention, while three species are included in Appendix III. Despite the lack of formal protection of Ramsar Site Bardača Wetland on entity or state level, the structure of its herpetofauna, including the protected and

endangered species of national and international significance, in combination with the recorded anthropogenic pressure, appearance of allochthonous species and decrease in population size of formerly common species, indicates a high conservation significance of this area and the need for adequate conservation.

Keywords: Bardača – wetland complex, reptile fauna, endangered species, protected species, allochthonous turtles.

Утицај температуре и падавина на бројност врсте *Culex pipiens*

Ена Незировић Омердић^{1*} и Елвира Хаџиахметовић Јурида¹

¹ Универзитет у Тузли, Природно-математички факултет, Тузла, Босна и Херцеговина

* ena.nezirovic@untz.ba

Комарац *Culex pipiens* представља једну од најраспрострањенијих и еколошки најзначајнијих врста комараца у умјереним климатским подручјима. Ова врста је широко присутна у урбаним, приградским и руралним срединама, гдје користи различите типове стајаћих вода као погодна мјеста за развој ларви. Значај врсте *Culex pipiens* огледа се у њеној улози потенцијалног вектора бројних патогена, укључујући вирус Западног Нила, због чега њена бројност и сезонска динамика имају велики значај за јавно здравство и екологију. Климатски фактори, посебно температура ваздуха и количина падавина, имају кључну улогу у регулацији развоја, репродукције и активности популација ове врсте. Промјене климатских услова могу значајно утицати на повећање бројности комараца, продужење периода њихове активности и ширење на нова подручја. Циљ овог истраживања био је утврдити повезаност између температуре, количине падавина и бројности врсте *Culex pipiens*, као и идентификовати климатске услове који највише погодују развоју и опстанку популације. Истраживање је обухватило праћење бројности одраслих јединки у урбаној средини у склопу локалитета Чика Мишина стаза у Лукавцу током периода од мјесеца марта до мјесеца јуна 2026. године, уз истовремено прикупљање метеоролошких података о просјечним седмичним и мјесечним температурама и количини падавина. Узорковање комараца вршено је стандардним ентомолошким методама, укључујући постављање клопки за одрасле јединке и преглед потенцијалних станишта као што су канали, баре и резервоари са стајаћом водом. Прикупљени подаци анализирали су статистичким методама ради утврђивања корелације између климатских параметара и промјена у бројности популације. Резултати истраживања указују да повећање температуре и присуство умјерених падавина позитивно утичу на раст бројности врсте *Culex pipiens*. Више температуре убрзавају развој ларви, скраћују трајање животног циклуса и повећавају репродуктивни потенцијал популације, док падавине омогућавају формирање погодних водених станишта за развој ларвених облика. С друге стране, екстремно високе температуре и дужи сушни периоди могу довести до смањења доступности ларвалних станишта и негативно утицати на опстанак популације. Највећа бројност забиљежена је током топлијих и влажнијих мјесеци попут маја и јуна, што потврђује значајан утицај климатских фактора на сезонску динамику врсте. Добијени резултати могу допринијети бољем разумијевању

екологије врсте *Culex pipiens* и представљати основу за унапређење мјера мониторинга и контроле комараца, посебно у урбаним подручјима изложеним климатским промјенама.

Кључне ријечи: *Culex pipiens*, температура, падавине, климатски фактори, бројност популације.

Influence of Temperature and Precipitation on the Abundance of the *Culex pipiens* Species

Ena Nežirović Omerdić¹* and Elvira Hadžiahmetović Jurida¹

¹ University of Tuzla, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

* ena.nezirovic@untz.ba

Culex pipiens mosquito represents one of the most widespread and ecologically significant mosquito species in temperate climatic regions. This species is widely distributed in urban, suburban, and rural environments, where it utilizes various types of stagnant water as suitable breeding sites for larval development. The importance of *Culex pipiens* is reflected in its role as a potential vector of numerous pathogens, including the West Nile virus, making its abundance and seasonal dynamics highly significant for public health and ecology. Climatic factors, particularly air temperature and precipitation, play a crucial role in regulating the development, reproduction, and activity of populations of this species. Changes in climatic conditions may significantly influence the increase in mosquito abundance, prolong the period of activity, and facilitate the spread of populations to new areas. The aim of this study was to determine the relationship between temperature, precipitation, and the abundance of *Culex pipiens*, as well as to identify the climatic conditions that most favor the development and survival of its populations. The research included monitoring the abundance of adult individuals in an urban environment within the locality of Čika Mišina Staza in Lukavac during the period from March to June 2026, along with simultaneous collection of meteorological data on average weekly and monthly temperatures and precipitation levels. Mosquito sampling was performed using standard entomological methods, including the placement of traps for adult individuals and inspection of potential habitats such as canals, ponds, and reservoirs with stagnant water. The collected data were analyzed using statistical methods in order to determine the correlation between climatic parameters and changes in population abundance. The results indicate that increased temperatures and the presence of moderate precipitation positively affect the population growth of *Culex pipiens*. Higher temperatures accelerate larval development, shorten the duration of the life cycle, and increase the reproductive potential of populations, while precipitation enables the formation of suitable aquatic habitats for larval stages. On the other hand, extremely high temperatures and prolonged drought periods may reduce the availability of larval habitats and negatively affect population survival. The highest abundance was recorded during warmer and more humid months, such as May and June, confirming the significant influence of climatic factors on the seasonal dynamics of this species. The obtained results may contribute to a better understanding of the ecology of *Culex pipiens* and provide a basis for improving mosquito monitoring and control measures, particularly in urban areas exposed to climate change.

Keywords: *Culex pipiens*, temperature, precipitation, climatic factors, population abundance.

Екологија и морфологија двопругасте укклије (*Alburnoides bipunctatus*) из ријеке Врбање

Дарко Зечевић¹ и Драгојла Голуб^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* dragojla.golub@pmf.unibl.org

Двопругаста укклија (*Alburnoides bipunctatus*) је ситна слатководна риба широко распрострањена у Европи, док се у Босни и Херцеговини јавља у Дунавском сливу. Ова врста насељава текуће воде различитих типова, најчешће средње и горње токове ријека, гдје преферира добро оксигенисана станишта са шљунковитим или пјесковитим дном. Осим тога, има значајну улогу у трофичкој структури ријечних екосистема и доприноси одржавању биолошке равнотеже у текућим водама. Због изражене осјетљивости на промјене у животној средини, сматра се поузданим индикатором еколошког стања и често се користи у процјенама квалитета ријечних екосистема. Морфометријске и меристичке анализе представљају важан алат у ихтиолошким истраживањима, омогућавајући процјену интраспецијске варијабилности, структуре популација и адаптивних одговора на услове средине. Циљ ове студије био је испитати морфометријску и меристичку варијабилност, као и утврдити полни диморфизам и кондиционо стање популације *A. bipunctatus* из ријеке Врбање. Узорак је обухватио 93 јединке прикупљене током 2018. и 2020. године примјеном електрориболова. Мјерене су укупно 24 морфометријске особине и маса тијела, док су меристичке карактеристике обухватале број зрака у перајима и број крљушти у бочној линији. Пол је одређен на основу прегледа гонада, а Фултонов коефицијент кондиције израчунат је ради процјене општег физиолошког стања јединки. За статистичку обраду података примијењени су дескриптивна статистика и одговарајући тестови значајности ($p < 0,05$). Резултати указују на готово уравнотежен однос полова са благом доминацијом женки у анализираној популацији. Значајан полни диморфизам утврђен је код већине морфометријских особина, при чему су женке имале веће тјелесне димензије и већу масу у односу на мужјаке, што је у складу са репродуктивним стратегијама бројних врста риба. Уочена варијабилност морфометријских карактеристика упућује на изражену фенотипску пластичност и могућу адаптацију на специфичне еколошке услове ријеке Врбање. Насупрот томе, меристичке карактеристике показале су релативно ниску варијабилност и стабилне распоне варирања, без изражених полно условљених разлика, те су углавном биле у складу са подацима доступним у литератури за ову врсту. Фултонов коефицијент кондиције указао је на добро физиолошко стање јединки и сугерисао релативно стабилне и повољне услове станишта у истраживаном дијелу ријеке. Вриједности Фултоновог коефицијента кондиције указују на добро физиолошко стање јединки и повољне услове станишта у истраживаном дијелу ријеке, што додатно потврђује стабилност популације. Закључно, популација *A. bipunctatus* из ријеке Врбање одликује се израженом морфометријском варијабилношћу и јасним полним диморфизмом, док су меристичке особине стабилне и конзервативне. Добијени резултати доприносе бољем разумијевању биолошких и еколошких карактеристика ове врсте и представљају значајну основу за будућа истраживања, биомониторинг и планирање мјера заштите у ријечним екосистемима. Истовремено, могу послужити као референтна основа за праћење будућих промјена у популацијама под утицајем антропогених

притисака и климатских фактора.

Кључне ријечи: *Alburnoides bipunctatus*, варијабилност популације, морфометријске особине, меристичке карактеристике, полни диморфизам, коефицијент кондиције.

Ecology and Morphology of Spirlin (*Alburnoides bipunctatus*) from the Vrbanja River

Darko Zečević¹ and Dragojla Golub^{1*}

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* dragojla.golub@pmf.unibl.org

The spirlin (*Alburnoides bipunctatus*) is a small freshwater fish widely distributed across Europe, while in Bosnia and Herzegovina it occurs within the Danube River basin. This species inhabits various types of lotic environments, most commonly medium and upper river reaches, where it prefers well-oxygenated habitats with gravel or sandy substrates. In addition, it plays an important role in the trophic structure of river ecosystems and contributes to maintaining ecological balance in running waters. Due to its pronounced sensitivity to environmental changes, it is considered a reliable indicator of ecological status and is frequently used in assessments of river ecosystem quality. Morphometric and meristic analyses represent an important tool in ichthyological research, enabling the assessment of intraspecific variability, population structure, and adaptive responses to environmental conditions. The aim of this study was to examine morphometric and meristic variability, as well as to determine sexual dimorphism and the condition of the *A. bipunctatus* population from the Vrbanja River. The sample comprised 93 individuals collected during 2018 and 2020 using electrofishing. A total of 24 morphometric traits and body mass were measured, while meristic characteristics included fin ray counts and lateral line scale counts. Sex was determined by gonadal inspection, and Fulton's condition factor was calculated to assess the overall physiological condition of individuals. Descriptive statistics and appropriate significance tests ($p < 0.05$) were applied for data analysis. The results indicate a nearly balanced sex ratio with a slight predominance of females in the studied population. Significant sexual dimorphism was observed in most morphometric traits, with females showing larger body dimensions and higher body mass compared to males, consistent with reproductive strategies in many fish species. The observed variability in morphometric traits suggests pronounced phenotypic plasticity and possible adaptation to the specific environmental conditions of the Vrbanja River. In contrast, meristic traits showed relatively low variability and stable ranges, with no pronounced sex-related differences, and were generally consistent with data reported in the literature for this species. Fulton's condition factor indicated good physiological condition of individuals and suggested relatively stable and favourable habitat conditions in the studied river section. The values of Fulton's condition factor further confirm the stability of the population. In conclusion, the population of *A. bipunctatus* from the Vrbanja River is characterized by pronounced morphometric variability and clear sexual dimorphism, while meristic traits remain stable and conservative. The obtained results contribute to a better understanding of the biological and ecological characteristics of this species and provide a solid basis for future

research, biomonitoring, and the planning of conservation measures in freshwater ecosystems. At the same time, they may serve as a reference framework for monitoring future population changes under the influence of anthropogenic pressures and climatic factors.

Keywords: *Alburnoides bipunctatus*, population variability, morphometric traits, meristic characters, sexual dimorphism, condition factor.

Популационо-еколошке карактеристике врсте *Austropotamobius torrentium* у потоку Рајнерово врело (Бањ брдо, Бања Лука)

Рајко Рољић^{1*}, Катарина Грабеж¹, Анђела Сикимић¹, Маја Шибаревић¹
и Вера Николић²

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Београд, Србија

* rajko.roljic@pmf.unibl.org

Популација врсте *Austropotamobius torrentium* истраживана је у потоку Рајнерово врело на локалитету Бањ брдо, град Бања Лука. Наведена врста представља једну од пет аутохтоних европских врста слатководних ракова и има значајну конзервациону вриједност. Према класификацији Међународне уније за заштиту природе (IUCN), врста се тренутно налази у категорији LC (најмање угрожена врста), али је истовремено обухваћена бројним европским и националним уредбама о заштити природе због осјетљивости станишта и фрагментираности популација. Циљ истраживања био је потврдити присуство врсте на локалитету, те анализирати основне популационо-еколошке карактеристике, укључујући бројност, полну и старосну структуру популације. Теренска истраживања спроведена су током 2021. године, при чему су јединке сакупљане ручно, употребом ручних мрежица и активним претраживањем микростваништа. Укупно је регистровано 18 јединки, од чега 11 мужјака и 7 женки. Анализом полног односа примјеном хи-квадрат теста ($\chi^2 = 0,889$; $df = 1$; $p > 0,05$) није утврђена статистички значајна разлика. Старосна структура популације показује доминацију јединки укупне дужине тијела у распону 60–80 mm, док приближно 80% јединки припада категорији полно зрелих организама, што указује на репродуктивно стабилну популацију. Уочени полни диморфизам изражен је кроз пропорционално развијенија клијешта и робусније тјелесне димензије код мужјака, док женке карактерише статистички шири абдомен, што је у складу са репродуктивном функцијом инкубације јаја. Добијени резултати потврђују да поток Рајнерово врело представља изузетно значајно станиште и потенцијални рефугијум за локалну популацију врсте *A. torrentium*, чије су популације у региону често малобројне и просторно изоловане. Очување квалитета овог станишта има кључну улогу у дугорочној стабилности и заштити врсте на подручју Републике Српске.

Кључне ријечи: поточни рак, аутохтона врста, структура популације, Рајнерово врело.

Population and Ecological Characteristics of the Stone Crayfish *Austropotamobius torrentium* in the Rajnerovo Vrelo Stream (Banj Brdo, Banja Luka)

Rajko Roljić^{1*}, Katarina Grabež¹, Anđela Sikimić¹, Maja Šibarević¹ and Vera Nikolić²

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² University of Belgrade, Faculty of Biology, Belgrade, Serbia

* rajko.roljic@pmf.unibl.org

The population of the species *Austropotamobius torrentium* was investigated in the Rajnerovo Vrelo stream at the Banj Brdo locality in the city of Banja Luka. This species represents one of the five native European freshwater crayfish species and holds significant conservation value. According to the International Union for Conservation of Nature (IUCN) classification, the species is currently listed as Least Concern (LC). However, it is simultaneously covered by numerous European and national nature protection regulations due to habitat sensitivity and population fragmentation. The aim of the study was to confirm the presence of the species at the locality and to analyze its core population and ecological characteristics, including abundance, sex ratio, and age structure. Field research was conducted during 2021, with individuals collected manually using hand nets and by actively searching microhabitats. A total of 18 individuals were recorded, consisting of 11 males and 7 females. Sex ratio analysis using the chi-square test ($\chi^2 = 0.889$; $df = 1$; $p > 0,05$) revealed no statistically significant difference. The age structure of the population shows a dominance of individuals with a total body length in the range of 60–80 mm, while approximately 80% of the individuals belong to the category of sexually mature organisms, indicating a reproductively stable population. The observed sexual dimorphism is manifested through proportionally more developed chelae and more robust body dimensions in males, whereas females are characterized by a statistically wider abdomen, which is in accordance with the reproductive function of egg incubation. The obtained results confirm that the Rajnerovo Vrelo stream represents an exceptionally important habitat and a potential refugium for the local population of *A. torrentium*, whose populations in the region are often small and spatially isolated. Preserving the quality of this habitat plays a key role in the long-term stability and protection of the species within the Republic of Srpska.

Keywords: stone crayfish, native species, population structure, Rajnerovo Vrelo.

Просторна расподела адулта и кокона *Branchiobdella* sp. на бјелоногом раку *Austropotamobius pallipes* из ријеке Заломке: прелиминарни налази

Рајко Рољић^{1*}, Анђела Сикимић¹, Катарина Грабеж¹, Маја Шибаревић¹ и Вера Николић²

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Београд, Србија

* rajko.roljic@pmf.unibl.org

Бранхиобделиде су ситне паразитске олигохете, просјечне дужине око 10 mm, које насељавају тијела слатководних ракова. Морфолошки су препознатљиве по редукованом броју сегмената и специфичној задњој пијавки којом се фиксирају за егзоскелет домаћина. У оквиру овог истраживања, спроведена је прелиминарна анализа јединки рода *Branchiobdella* и њихових кокона на бјелоногим раковима (*Austropotamobius pallipes*) из ријеке Заломке. Узорковање је извршено 11. јуна 2025. године на узорку од 15 јединки (7 женки и 8 мужјака), при чему је утврђена стопа преваленције од 100%, што указује на потпуну присутност ових ектобионата у испитиваној популацији. Примарни циљ рада био је прецизно утврдити просторну дистрибуцију адулtnих јединки и кокона на тијелу домаћина како би се стекао увид у њихове микростанишне преференције. Узорци су прикупљени директном методом, детаљним прегледом специфичних регија тела домаћина. Након пребројавања *in situ*, јединке су фиксиране у 96% етанолу. Идентификација организама и анализа кокона извршене су помоћу стереомикроскопа Leica EZ4D у лабораторији Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој Луци. Анализа адулtnих јединки показала је да су биле присутне у сљедећим регијама у различитом проценту: на прелазу покретног и непокретног прста клијешта (30,56%), око усног отвора (25,93%), на переиоподама (15,74%) и абдомену (14,81%), док је мањи број регистрован на улазу у шкржну дупљу (12,96%). Ови резултати указују на јасну селективност адулtnих бранхиобделида према дијеловима тијела повезаним са исхраном и кретањем домаћина. Кокони су показали ширу просторну дистрибуцију, са највећим бројем забиљеженим око усних екстремитета (19,62%), абдомену (16,17%), у цервикалном шаву (14,03%) и на переиоподама (13,67%). Значајна концентрација кокона присутна је и на клијештима (10,58%), и на плеоподама (10,58%), док су остали дијелови тијела мање заступљени (уроподе 7,13%, рострум 4,28%, телзон 3,92%, клијешта 1,43%). Ови подаци указују да се кокони одлажу у заштићеније и морфолошки сложеније дијелове тијела, чиме се повећава вјероватноћа успјешног развоја потомства. Добијени резултати потврђују микростанишну диференцијацију *Branchiobdella* sp. – адулти преферирају дијелове тијела погодне за храњење и интеракцију са домаћином, док се кокони селективно одлажу у заштићеним зонама. Ова расподела истовремено одражава адаптивне стратегије ектобионата, а њихова бројност може бити индикатор стања популације домаћина у ријеци Заломки.

Кључне ријечи: *Branchiobdella* sp., *Austropotamobius pallipes*, ектобионти, просторна расподела, ријека Заломка.

Spatial Distribution of Adults and Cocoons of *Branchiobdella* sp. on the White-Clawed Crayfish *Austropotamobius pallipes* from the Zalomka River: Preliminary Reports

Rajko Roljić^{1*}, Anđela Sikimić¹, Katarina Grabež¹, Maja Šibarević¹ and Vera Nikolić²

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² University of Belgrade, Faculty of Biology, Belgrade, Serbia

* rajko.roljic@pmf.unibl.org

Branchiobdellidans are small parasitic oligochaetes, with an average length of approximately 10 mm, that inhabit the bodies of freshwater crayfish. Morphologically, they are characterized by a reduced number of segments and a specific posterior sucker used for attachment to the host's exoskeleton. In this study, a preliminary analysis of the genus *Branchiobdella* and their cocoons was conducted on white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*) from the Zalomka River. Sampling was carried out on June 11, 2025, using a sample of 15 individuals (7 females and 8 males). A prevalence rate of 100% was established, indicating the total presence of these ectobionts within the examined population. The primary objective of the research was to precisely determine the spatial distribution of adult individuals and cocoons on the host's body to gain insight into their microhabitat preferences. Samples were collected using a direct method, involving a detailed examination of specific body regions. After *in situ* counting, the specimens were fixed in 96% ethanol. Identification of the organisms and cocoon analysis were performed using a Leica EZ4D stereomicroscope at the laboratory of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Banja Luka. Analysis of adult individuals revealed their presence across various regions in different percentages: at the junction of the dactyl and propodus of the chelae (30.56%), around the oral opening (25.93%), on the pereopods (15.74%), and on the abdomen (14.81%), while a smaller number was recorded at the entrance to the branchial cavity (12.96%). These results indicate a clear selectivity of adult branchiobdellidans toward body parts associated with the host's feeding and movement. The cocoons exhibited a wider spatial distribution, with the highest numbers recorded around the oral appendages (19.62%), on the abdomen (16.17%), in the cervical groove (14.03%), and on the pereopods (13.67%). Significant concentrations of cocoons were also present on the chelae (10.58%) and pleopods (10.58%), while other body parts were less represented (uropods 7.13%, rostrum 4.28%, telson 3.92%, and chelae 1.43%). These data suggest that cocoons are deposited in more protected and morphologically complex body parts, thereby increasing the probability of successful offspring development. The obtained results confirm the microhabitat differentiation of *Branchiobdella* sp. – adults prefer body parts suitable for feeding and interaction with the host, while cocoons are selectively deposited in protected zones. This distribution reflects the adaptive strategies of these ectobionts, and their abundance may serve as an indicator of the host population's status in the Zalomka River.

Keywords: *Branchiobdella* sp., *Austropotamobius pallipes*, ectobionts, spatial distribution, Zalomka River.

ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ
ENVIRONMENTAL PROTECTION

Изазови у спровођењу циркуларне економије на локалном нивоу и утицај на животну средину

Душица Пешевих^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* dusica.pesevic@pmf.unibl.org

Растући притисак на природне ресурсе, уз интензивирање климатских промјена и деградације животне средине, указује на неопходност преласка ка одрживим моделима развоја. У том контексту, циркуларна економија представља значајан оквир за трансформацију образаца производње и потрошње, са мјерљивим ефектима у смањењу емисија гасова са ефектом стаклене баште, количине отпада и потрошње примарних ресурса. Посебна пажња усмјерава се на улогу локалних самоуправа, које имају кључну позицију у повезивању економских активности и заштите животне средине кроз локалне политике, регулаторне инструменте и оперативне праксе управљања отпадом и ресурсима. Иако постоји обимна литература о циркуларној економији, ограничен број истраживања систематски анализира конкретне управљачке механизме на локалном нивоу, њихову секторску примјену и директне еколошке ефекте, посебно у контексту земаља у транзицији. Циљ овог рада је да идентификује и анализира преносиве моделе управљања кроз које локалне самоуправе могу подржати транзицију ка циркуларној економији, са посебним освртом на њихов утицај на животну средину. Истраживање се заснива на квалитативној и компаративној анализи седам студија случаја из европских градова (Љубљана, Марибор, Амстердам, Милано, Глазгов, Копенхаген и Барселона), који су одабрани на основу нивоа имплементације циркуларних пракси, доступности релевантних података и секторске разноврсности. Анализа обухвата секторе комуналног, текстилног и отпада од хране, који су одабрани због високог потенцијала за локалне интервенције, кратких ланаца вриједности и значајног доприноса емисијама и генерисању отпада. Додатно, укључена је анализа одабраних примјера из Босне и Херцеговине, с циљем процјене примјењивости идентификованих модела у условима ограничених институционалних и финансијских капацитета. Посебна пажња посвећена је и концепту индустријске симбиозе као облику циркуларне економије заснованом на размјени ресурса између привредних субјеката. Резултати указују да примјена интегрисаних система одвојеног прикупљања отпада, економских инструмената (на примјер, „плати колико баиш“) и развој инфраструктуре за поновну употребу могу довести до значајног смањења количине депонованог отпада и емисија гасова са ефектом стаклене баште. Компаративна анализа показује да су најуспјешнији модели они који комбинују регулаторне мјере, економске подстицаје и активно учешће грађана. У контексту Босне и Херцеговине, идентификовани су позитивни помаци у увођењу система селекције отпада и јачању сарадње са приватним сектором, као и почетни облици индустријске симбиозе у појединим производним ланцима, што указује на потенцијал за даљи развој циркуларних пракси. Закључно, успјешна транзиција ка циркуларној економији на локалном нивоу захтијева стратешки и координисан приступ, јачање институционалних капацитета и прилагођавање међународних добрих пракси локалном контексту. Повезивање управљачких механизма са мјерљивим еколошким исходима представља кључни предуслов за ефикасну имплементацију циркуларне економије и постизање

циљева одрживог развоја. Поред тога, резултати истраживања наглашавају значај континуираног праћења и евалуације имплементираних мјера, како би се омогућило њихово прилагођавање специфичним локалним условима и осигурала дугорочна одрживост циркуларних иницијатива.

Кључне ријечи: циркуларна економија, локалне самоуправе, управљање отпадом, утицај на животну средину, одрживи развој.

Challenges in Implementing Circular Economy at the Local Level and Its Environmental Impact

*Dušica Pešević**

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* dusica.pesovic@pmf.unibl.org

Increasing pressure on natural resources, along with the intensification of climate change and environmental degradation, highlights the necessity of transitioning toward sustainable development models. In this context, the circular economy represents an important framework for transforming production and consumption patterns, with measurable effects in reducing greenhouse gas emissions, waste generation, and the consumption of primary resources. Particular attention is given to the role of local governments, which hold a key position in linking economic activities with environmental protection through local policies, regulatory instruments, and operational practices of waste and resource management. Although there is an extensive body of literature on the circular economy, a limited number of studies systematically analyze concrete governance mechanisms at the local level, their sectoral application, and direct environmental impacts, particularly in the context of transition economies. The aim of this paper is to identify and analyze transferable governance models through which local governments can support the transition toward a circular economy, with a particular focus on their environmental impact. The research is based on a qualitative and comparative analysis of seven case studies from European cities (Ljubljana, Maribor, Amsterdam, Milan, Glasgow, Copenhagen, and Barcelona), selected according to the level of implementation of circular practices, availability of relevant data, and sectoral diversity. The analysis covers municipal waste, textile waste, and food waste sectors, which were selected due to their high potential for local interventions, short value chains, and significant contribution to emissions and waste generation. Additionally, selected examples from Bosnia and Herzegovina are included in order to assess the applicability of identified models under conditions of limited institutional and financial capacities. Special attention is also given to the concept of industrial symbiosis as a form of circular economy based on the exchange of resources between economic actors. The results indicate that the implementation of integrated waste separation systems, economic instruments (e.g. “pay-as-you-throw”), and the development of reuse infrastructure can significantly reduce the amount of waste sent to landfills and greenhouse gas emissions. The comparative analysis shows that the most successful models are those combining regulatory measures, economic incentives, and active citizen participation. In the context of Bosnia and Herzegovina, positive developments have been identified in the introduction of waste sorting systems and the

strengthening of cooperation with the private sector, as well as initial forms of industrial symbiosis in certain production chains, indicating the potential for further development of circular practices. In conclusion, a successful transition toward a circular economy at the local level requires a strategic and coordinated approach, strengthening institutional capacities, and adapting international best practices to the local context. Linking governance mechanisms with measurable environmental outcomes represents a key prerequisite for the effective implementation of the circular economy and the achievement of sustainable development goals. Additionally, the research findings emphasize the importance of continuous monitoring and evaluation of implemented measures, in order to enable their adaptation to specific local conditions and ensure the long-term sustainability of circular initiatives.

Keywords: circular economy, local governments, waste management, environmental impact, sustainable development.

Азотна једињења као показатељи промена квалитета воде реке Дунав дуж Подунавског региона у Србији

Илхана Раиљанин Маџовић¹ и Милана Пантелић¹*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, Србија

* ilhanarasljanin@gmail.com

Ток реке Дунав у Србији је један од најважнијих водних ресурса и има вишеструки значај за Подунавски регион. Овај регион одликује се израженом концентрацијом ста-новништва, повећаном производњом, потрошњом и услугама које их подржавају. Про-сперитет и даљи развој Подунавског региона у Србији у великој мери може зависити од квалитета воде реке Дунав. Квалитет воде је кључан за здравље људи и екосистема и може утицати на бројне привредне активности као што су пољопривреда, риболов, индустрија, туризам и саобраћај, али и на друге аспекте живота. Азотна једињења ко-ја обухватају нитрате, нитрите и амонијум јон један су значајних показатеља квали-тета и загађења вода. Азот је макронутријент битан за бројне животне процесе микро-организама, биљака и животиња. Ипак, повећане концентрације азота у води могу изазвати бројне еколошке и здравствене проблеме. У раду су анализирани концентрације азотних једињења у води реке Дунав дуж Подунавског региона у Србији. За потребе овог истраживања коришћени су подаци из годишњака Агенције за заштиту животне средине, Министарства пољопривреде и заштите животне средине Републике Србије. Анализирани су подаци концентрације азотних једињења са осам мерних станица, за период од 2014. до 2023. године. Циљ истраживања је анализа просторних и временских промена концентрација азотних једињења и процена њиховог значаја као показатеља квалитета воде реке Дунав у Србији. Методом дескриптивне статистике је утврђено да постоје промене у концентрацијама азотних једињења. Просторно посматрано, највише концентрације нитрата и амонијум јона забележене су на улазним профилима реке Дунав у Србију (Бездан и Богојево) и смањују се према излазном току реке. Површинске

воде под таквим условима припадају класи III и њихов еколошки статус је дефинисан као умерен. Такве воде могу се користити у одређене сврхе уз претходне третмане унапређења квалитета воде. Концентрација нитрита је на свим профилима тока реке била нижа и површинске воде под таквим условима припадају класи I што одговара одличном еколошком статусу. Временски посматрано, није уочен јасан тренд погоршања квалитета воде током посматраног периода, већ умерене временске осцилације и просторна варијабилност концентрација азотних једињења. Резултати истраживања потврђују значај азотних једињења у систему мониторинга површинских вода и доприносе бољем разумевању просторних и временских промена квалитета воде реке Дунав у Србији.

Кључне речи: квалитет воде, азотна једињења, река Дунав, Подунавски регион.

Nitrogen Compounds as Indicators of Water Quality Changes in the Danube River along the Danube Region in Serbia

Ilhana Rašljanin Madžović¹ and Milana Pantelić¹*

¹ University of Novi Sad, Faculty of Science, Department of Geography, Tourism and Hotel Management, Novi Sad, Serbia

* ilhanarasljanin@gmail.com

The flow of the Danube River in Serbia is one of the most important water resources and has multiple significance for the Danube region. This region is characterized by a pronounced concentration of population, increased production, consumption and the services that support them. The prosperity and further development of the Danube region in Serbia may largely depend on the quality of the water of the Danube River. Water quality is crucial for the health of people and ecosystems and can impact numerous economic activities such as agriculture, fishing, industry, tourism and transportation, as well as other aspects of life. Nitrogen compounds that include nitrates, nitrites and ammonium ions are significant indicators of water quality and pollution. Nitrogen is a macronutrient essential for numerous life processes of microorganisms, plants and animals. However, increased concentrations of nitrogen in water can cause numerous ecological and health problems. The paper analyzes the concentrations of nitrogen compounds in the water of the Danube River along the Danube region in Serbia. For the purposes of this research, data from the annual report of the Environmental Protection Agency, Ministry of Agriculture and Environmental Protection of the Republic of Serbia was used. The data on the concentration of nitrogen compounds from eight measuring stations has been analyzed for the period from 2014 until 2023. The aim of the research is to analyze the spatial and temporal changes in the concentrations of nitrogen compounds and the assess their significance as indicators of water quality in the Danube river in Serbia. Using descriptive statistics, it has been determined that there are changes in the concentrations of nitrogen compounds. Spatially observed, the highest concentrations of nitrates and ammonium ions were recorded at the entry profiles of the Danube River into Serbia (Bezdan and Bogojevo) and decrease toward the river's outlet flow. Under such conditions, surface waters belong to class III, and their ecological status is defined as moderate. Such waters can be used for specific purposes with prior treatments to improve water quality. The concentration of nitrites was lower at all profiles of the river flow, and the surface waters under such conditions belong to class I, which corresponds to an excellent

ecological status. From a temporal perspective, no clear trend of water quality deterioration has been observed during the monitoring period, but rather moderate temporal oscillations and spatial variability in the concentrations of nitrogen compounds. The research results confirm the significance of nitrogen compounds in the surface water monitoring system and contribute to a better understanding of the spatial and temporal changes in the water quality of the Danube river in Serbia.

Keywords: water quality, nitrogen compounds, Danube River, Danube region.

Оптимизација локације фотонапонских система у Босни и Херцеговини применом Solar Global Atlas и RETScreen

Ивица Цветковић¹ и Предраг Кузмановић^{2}*

¹ Интернационални универзитет Брчко дистрикт, Брчко, Босна и Херцеговина

² Криминалистичко-полицијски универзитет, Земун, Београд, Србија

* predrag.kuzmanovic@df.uns.ac.rs

Са порастом потребе за одрживим изворима енергије и смањењем емисије штетних гасова, соларна енергија постаје један од кључних ресурса у савременом енергетском планирању. Циљ овог рада је идентификација оптималне локације за инсталацију фотонапонских (PV) система на основу упоредне анализе соларног енергетског потенцијала пет одабраних градова у Босни и Херцеговини (Бања Лука, Бијељина, Тузла, Сарајево и Брчко). Истраживање је засновано на емпиријско-статистичкој компарацији техничких, геофизичких, енергетских и климатско-метеоролошких параметара који утичу на ефикасност конверзије соларне енергије у електричну. Анализа обухвата кључне индикаторе: глобалну хоризонталну инсолацију (GHI), директну нормалну инсолацију (DNI), специфични PV излаз (PVout), температуру, надморску висину и климатске услове у периоду од последњих десет година. Подаци су прикупљени са метеоролошких станица и релевантних софтверских платформи за процену соларног потенцијала, уз разматрање техничко-економских аспеката примене PV система. Методолошки приступ укључује примену геопросторних и енергетских алата као што су Global Solar Atlas, RETScreen Expert, PVGIS и NASA базе података. Обрада података извршена је комбинацијом симулационог моделовања и упоредне статистичке анализе, уз табеларну и графичку интерпретацију резултата. Добијени резултати указују на значајне разлике у соларном потенцијалу између анализираних локација, при чему поједини градови показују повољније услове за експлоатацију соларне енергије. На основу интегралне анализе извршено је рангирање локација и издвајање најповољније за инсталацију фотонапонских електрана. Закључује се да примена више независних извора података и софтверских алата омогућава поузданију процену соларног потенцијала и оптимизацију избора локације. Рад наглашава значај мултидисциплинарног приступа у планирању обновљивих извора енергије и доприноси унапређењу методологије енергетског моделовања у регионалним условима, уз релевантан еколошки аспект.

Кључне речи: соларна енергија, фотонапонски системи, соларни потенцијал, оптимизација локације, RETScreen.

Optimization of Photovoltaic System Location in Bosnia and Herzegovina Using Solar Global Atlas and RETScreen

Ivica Cvetković¹ and Predrag Kuzmanović^{2}*

¹ International University of Brčko District, Brčko, Bosnia and Herzegovina

² University of Criminal Investigation and Police Studies, Zemun, Belgrade, Serbia

* predrag.kuzmanovic@df.uns.ac.rs

With the increasing demand for sustainable energy sources and the reduction of greenhouse gas emissions, solar energy has become one of the key resources in modern energy planning. The aim of this study is to identify the optimal location for the installation of photovoltaic (PV) systems based on a comparative analysis of the solar energy potential of five selected cities in Bosnia and Herzegovina (Banja Luka, Bijeljina, Tuzla, Sarajevo, and Brčko). The research is based on an empirical-statistical comparison of technical, geophysical, energy, and climate–meteorological parameters that influence the efficiency of solar-to-electric energy conversion. The analysis includes key indicators: global horizontal irradiation (GHI), direct normal irradiation (DNI), specific PV output (PVout), temperature, altitude, and climatic conditions over the last ten years. Data were collected from meteorological stations and relevant software platforms for solar potential assessment, with consideration of the technical and economic aspects of PV system implementation. The methodological approach includes the application of geospatial and energy tools such as Global Solar Atlas, RETScreen Expert, PVGIS, and NASA databases. Data processing was performed using a combination of simulation modelling and comparative statistical analysis, with tabular and graphical interpretation of results. The obtained results indicate significant differences in solar potential among the analyzed locations, with certain cities showing more favorable conditions for solar energy exploitation. Based on the integrated analysis, a ranking of locations was performed and the most suitable site for the installation of photovoltaic power plants was identified. It is concluded that the use of multiple independent data sources and software tools enables a more reliable assessment of solar potential and optimization of site selection. The study highlights the importance of a multi-disciplinary approach in renewable energy planning and contributes to the improvement of energy modeling methodologies in regional conditions, with a relevant environmental aspect.

Keywords: solar energy, photovoltaic systems, solar potential, location optimization, RETScreen.

ΓΕΟΓΡΑΦΙΑ
GEOGRAPHY

Промјене инсолације у Босни и Херцеговини у периоду 1961–2024. године

Татјана Попов^{1}, Слободан Гњато¹ и Горан Трбић¹*

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* tatjana.popov@pmf.unibl.org

У раду су анализиране савремене промјене инсолације у Босни и Херцеговини, детерминисане тренд анализом и анализом промјена између последња два стандардна климатолошка периода. Анализе су извршене на основу мјесечних података о инсолацији са пет метеоролошких станица лоцираних у различитим регионима Босне и Херцеговине, а за које постоје дугогодишња мјерења – Сански Мост, Бањалука, Сарајево, Соколац и Мостар. Подаци су преузети од Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске и Федералног хидрометеоролошког завода. Ман-Кендалов тест коришћен је за процјену нагиба трендова годишње и сезонске инсолације у периоду 1961–2024. и њихове статистичке значајности, а Колмогоров–Смирновљев тест за анализу промјена између последња два стандардна климатолошка периода: референтног периода 1961–1990. године и периода 1991–2020. године, у којем климатске промјене постају израженије. Утврђено је да су у Босни и Херцеговини присутни позитивни трендови инсолације. У периоду 1961–2024. године статистички значајан (p -вриједност $< 0,001$) позитиван тренд годишње инсолације утврђен је на свим анализираним станицама, у распону од 29,9 h по деценији у најтоплијем дијелу територије (Мостар) до 72,6–82,0 h по деценији на сјеверу, у перипанонском региону. На подручју Сарајева годишња инсолација порасла је по линији тренда за 47,9 h по деценији, а у Сокоцу 58,3 h по деценији. Тренд пораста инсолације присутан је у свим сезонама (осим у Мостару у сезони јесен). Утврђени трендови пораста на сјеверу значајни су у свим сезонама, а нарочито су изражени у најхладнијем и најтоплијем периоду године (на примјер, у Бањалуци је инсолација у сезонама зима и љето порасла за 6,7 h по деценији и 9,7 h по деценији, респективно). Значајан пораст инсолације присутан је и у Сокоцу (повећање у јесен значајно је само на нивоу p -вриједност $< 0,1$), док је у Сарајеву пораст значајан само у сезони зима (7,5 h по деценији). У дијелу Босне и Херцеговине који се одликује највећом инсолацијом значајни трендови забиљежени су сезонама љето и прољеће (на примјер, у Мостару 4,5 h по деценији и 3,6 h по деценији, респективно). Да инсолација расте на цијелој територији показује и компаративна анализа просјечне годишње и сезонске инсолације током два последња стандардна климатолошка периода. У каснијем периоду (1991–2020) просјечна годишња инсолација порасла је на свим анализираним станицама за 6,4–13,0% у односу на референтни период (1961–1990), а утврђене су и значајне промјене дистрибуције – помјерање према вишим вриједностима инсолације. Просјечне сезонске вриједности инсолације такође су повећане на свим станицама (осим у Мостару у јесен). Највеће повећање забиљежено је у сезони зима – од 10,1% у Мостару до 34,4% у Сарајеву (у Бањалуци 23,4%). Резултати Колмогоров–Смирновљевог теста показују да су у наведеној сезони присутне и значајне промјене дистрибуције (осим у Мостару). Значајне промјене дистрибуције забиљежене су и у сезонама прољеће и љето (осим у Сарајеву у сезони љето). Иако би уочено повећање инсолације генерално могло бити корисно за биљке (све док не постане преинтензивно и не пређе критичне границе), с обзиром на

то да је праћено позитивним трендовима температуре ваздуха и екстремних временских догађаја, неопходна су даља истраживања утицаја промијењених климатских услова на биљни свијет, како би се благовремено предузеле одговарајуће мјере адаптације.

Кључне ријечи: инсолација, тренд, климатске промјене, Босна и Херцеговина.

Insolation Changes in Bosnia and Herzegovina in the 1961–2024 Periods

Tatjana Popov¹*, Slobodan Gnjato¹ and Goran Trbić¹

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* tatjana.popov@pmf.unibl.org

The study analyzes contemporary changes in insolation in Bosnia and Herzegovina, determined through trend analysis and an analysis of changes between the last two standard climatological periods. The analyses were conducted based on monthly insolation data from five meteorological stations located in different regions of Bosnia and Herzegovina with long-term measurements available – Sanski Most, Banjaluka, Sarajevo, Sokolac, and Mostar. Data were obtained from the Republic Hydrometeorological Institute of the Republic of Srpska and the Federal Hydro-meteorological Institute. The Mann–Kendall test was used to assess the slope of annual and seasonal insolation trends in the 1961–2024 periods and their statistical significance, while the Kolmogorov–Smirnov test was applied to analyze changes between the last two standard climatological periods: the reference period 1961–1990 and the period 1991–2020, in which climate change becomes more pronounced. It was found that positive insolation trends are present in Bosnia and Herzegovina. In the 1961–2024 periods, a statistically significant (p -value < 0.001) positive trend in annual insolation was found at all analyzed stations, ranging from 29.9 h per decade in the warmest part of the territory (Mostar) to 72.6–82.0 h per decade in the northern, Peripannonian region. In Sarajevo, annual insolation increased by 47.9 h per decade, while in Sokolac the increase was 58.3 h per decade. An increasing trend in insolation is present in all seasons (except in Mostar in autumn). The observed positive trends in the north are significant in all seasons and are particularly pronounced in the coldest and warmest parts of the year (for example, in Banjaluka, winter and summer insolation increased by 6.7 h per decade and 9.7 h per decade, respectively). A significant increase in insolation is also present in Sokolac (the increase in autumn is significant only at the p -value < 0.1 level), while in Sarajevo the increase is significant only in winter (7.5 h per decade). In the part of Bosnia and Herzegovina characterized by the highest insolation, significant trends were recorded in spring and summer (for example, in Mostar 4.5 h per decade and 3.6 h per decade, respectively). The increase in insolation across the entire territory is also confirmed by a comparative analysis of mean annual and seasonal insolation over the two most recent standard climatological periods. In the later period (1991–2020), average annual insolation increased at all analyzed stations by 6.4–13.0% compared to the reference period (1961–1990), and significant distributional changes were also identified – a shift toward higher insolation values. Average seasonal insolation values also increased at all stations (except in Mostar in autumn). The largest increase was recorded in winter – from 10.1% in Mostar to 34.4% in Sarajevo (23.4% in Banjaluka). The results of the Kolmogorov–Smirnov test indicate that significant distributional changes are also present in

this season (except in Mostar). Significant distributional changes were also recorded in spring and summer (except in Sarajevo in summer). Although the observed increase in insolation could generally be beneficial for plants (as long as it does not become excessively intense and exceed critical thresholds), given that it is accompanied by positive trends in air temperature and extreme weather events, further research is necessary on the impact of changing climatic conditions on vegetation, in order to timely implement appropriate adaptation measures.

Keywords: insolation, trend, climate change, Bosnia and Herzegovina.

Развој и интензитет истраживања урбане климе на простору Западног Балкана

Стеван Савић^{1,2}, Јелена Декић¹, Горан Трбић² и Даниела Арсеновић¹*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република
Српска, Босна и Херцеговина

* stevan.savic@dgt.uns.ac.rs

Комбиновани утицај интензивних топлотних таласа током лета и процеса урбанизације у градовима води ка појави модификованих климатских, али пре свега температурних услова у градовима, у поређењу са климатским условима у руралним, односно неурбанизованим срединама. Из тог разлога, глобални утицаји климатских промена приморавају градове да буду отпорнији на променљиве климатске и временске услове и да буду више прилагодљивији на екстремне догађаје. На основу тога, праћење климатских вредности на локалном и микро нивоу у градовима региона може бити драгоцен за будуће стратегије урбаног дизајна и планирања, а у складу са климатским променама. У последњих 15 година видљив је развој истраживања урбане климе на подручју Западног Балкана. Прва детаљна истраживања и климатски мониторинг је реализован у урбаној средини Новог Сада, а током наредних година, конкретне кампање мерења у урбаним срединама су спровођене у Београду, Бањалуци, Требињу, пре свега користећи мобилне мерне инструменте на различитим локацијама. Истовремено, уочена су почетна мерења и у Хрватској (Загреб и Осиек) и Словенији (Љубљана), док са друге стране до сада нису забележене публикације које потврђују реализована истраживања урбане климе у Црној Гори, Албанији и Северној Македонији. Објављене публикације на основу дугорочних мерења из Новог Сада, Бањалуке и Београда показују да се у урбаним срединама у региону тренд температуре ваздуха константно повећава, и да је истовремено интензиван тренд раста спољашњег термалног комфора, нарочито у последње две деценије. Додатна истраживања микро-климатских услова у наведеним градовима потврђују да у зонама са интензивном урбанизацијом постоје 'вруће тачке', које представљају просторе који се веома интензивно загревају током топлотних таласа (температура ваздуха локално достиже и преко 40 °C) и представљају озбиљни термални ризик за становништво. Током летњих сезона 2021. и 2022. године организоване су кампање мерења на 38 локација у оквиру урбаних зона Београда, Новог Сада, Бањалуке и Требиња. Одабране мерне лока-

ције одликују се различитим урбаним дизајном као што су: а) центар града – густо изграђене „сиве” области; б) кањонске улице; ц) Универзитетски кампус – „сиво-зелене” области; д) мали урбани тргови – поплочане и 'сиве' површине; е) стамбена подручја – „сиво-зелене” области; ф) урбани паркови или урбане шуме – „зелене” површине; г) обале река – „зелено-плава” подручја. Ова мерења су вршена уз претпоставку да сваки тип изграђености или земљишног покривача има различит температурни отисак. Време мерења је било током дана, односно од 8 или 10h CEST до 16 или 20h CEST. Добијени резултати су показали да се температурне разлике јављају између локација у истом типу урбаног дизајна, односно, ови резултати наглашавају да урбана подручја карактеришу специфични топлотни услови и на микронивоу. Истовремено, добијени резултати су показали изразите термалне разлике (у неким случајевима и више од 10 °C) између густо изграђених подручја са непропусном површином и зелених површина (углавном урбаних паркова). Коначно, резултати су показали да сенке и краткоталасно и дуготаласно зрачење играју главну улогу у термалној варијабилности. Директно и рефлектовано зрачење на једном месту мерења повећало је термалне вредности и до 10 °C, у поређењу са другим мерним местом које је било у сенци.

Кључне речи: урбана клима, урбано острво топлоте, термални комфор, мониторинг, Западни Балкан.

Development and Intensity of Urban Climate Research in the Western Balkans

Stevan Savić^{1,2}, Jelena Dekić¹, Goran Trbić² and Daniela Arsenović¹*

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

² University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* stevan.savic@dgt.uns.ac.rs

The combined influence of intense heat waves during the summer and the processes of urbanization in cities leads to modified, and primarily elevated, climatic conditions in urban areas compared with rural or non-urbanized environments. Consequently, global climate-change impacts compel cities to be more resilient to variable climatic and weather conditions and to be more adaptable to extreme events. On this basis, monitoring climatic values at local and micro scales in the cities of the region can be invaluable for future urban design and planning strategies in the context of climate change. Over the past 15 years, urban climate research in the Western Balkans has progressed. The first detailed studies and climate monitoring were conducted in the urban environment of Novi Sad, and in the following years, targeted measurement campaigns in urban settings were implemented in Belgrade, Banja Luka, and Trebinje, primarily using mobile measurement instruments at various locations. At the same time, initial measurements were observed in Croatia (Zagreb and Osijek) and Slovenia (Ljubljana); however, publications confirming urban climate research in Montenegro, Albania, and North Macedonia have not yet been recorded. Publications based on long-term measurements from Novi Sad, Banja Luka, and Belgrade indicate a rising trend in air temperature in urban environments in the region, as well as a concurrent increasing trend in outdoor thermal comfort, particularly over the last two

decades. Additional microclimate studies in the mentioned cities confirm that highly urbanized zones contain “hot spots”, areas that heat up intensely during heat waves (local air temperatures locally exceed 40 °C), posing significant thermal risks for residents. During the summer seasons of 2021 and 2022, measurement campaigns were conducted at 38 locations within the urban zones of Belgrade, Novi Sad, Banja Luka, and Trebinje. The selected locations exhibited distinct urban designs, including: a) downtown, densely built “gray” areas; b) canyon streets; c) university campus – “gray/green” areas; d) small urban squares – paved and “gray” surfaces; e) residential areas – “gray/green” zones; f) urban parks or urban forests – “green” surfaces; g) riverbanks – “green/blue” areas. These measurements were conducted under the assumption that each built-up or land-cover type presents a different thermal footprint. Measurements were taken during daytime, from 08:00 or 10:00 CEST to 16:00 or 20:00 CEST. The results show temperature differences between locations within the same urban design type, underscoring that urban areas exhibit specific thermal conditions even at the micro or nano-scale level. Additionally, the results reveal pronounced thermal contrasts (in some cases exceeding 10 °C) between densely built, impervious areas and green spaces (primarily urban parks). Finally, the results indicate that shade and short- and longwave radiation play major roles in thermal variability. Direct and reflected radiation at a single measurement site increased thermal values by up to 10 °C compared to another site in the shade.

Keywords: urban climate, urban heat island, thermal comfort, monitoring, Western Balkans.

Примена квантитативних и ГИС метода у истраживању урбаног острва топлоте Београда (1954–2024)

Тијана Радосављевић^{1*}, Слађана Поповић¹ и Љепосава Плакаловић²

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

² Универзитет за пословне студије у Бањој Луци, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* tijana.radosavljevic.2000@gmail.com

Феномен урбаног острва топлоте (енг. *Urban Heat Island*) постаје један од најважнијих изазова модерне климатологије. То се уочава нарочито у условима све израженијих глобалних климатских промена. Дефинише се као појава када је градско подручје значајно топлије у односу на рубне делове града или околне руралне делове. Као примарни узрочник издвајања специфичног типа климе – климе градова – ефекат урбаног острва топлоте утиче на живот и рад становника урбаних регија, али и на еколошку равнотежу њиховог непосредног окружења. Рад је базиран на детаљном истраживању феномена урбаног острва топлоте Београда у седмодеценијском периоду (1954–2024). Фокус истраживања усмерен је на праћење измена вредности ноћних температура ваздуха, будући да се топлотна аномалија града најјасније испољава након заласка сунца. Тада урбано ткиво емитује топлоту акумулирану током дана, док се рурална подручја „хладе“. Главни узрочници те аномалије су издувни гасови, неконтролисана и непланска градња, бетонске површине и асфалт. Тиме је отежано

или потпуно спречено слободно кретање и чишћење ваздуха, што доводи до акумулирања велике количине топлоте. Међу узрочнике треба додати и недостатак или смањење зелених површина, које ублажавају вредности температуре ваздуха у градским срединама. Праћење развоја урбаног острва значајно је, пре свега, због здравља људи у градовима. Готово сваке године региструје се повећан број топлотних удара и респираторних обољења, што се може довести у везу и са овим феноменом. Помоћу софтвера QGIS, извршена је просторна и временска анализа података са метеоролошке станице Београд ($\varphi=44^{\circ}48'$, $\lambda=20^{\circ}28'$), применом методе „врућих тачака“. Такође, помоћу геопросторне базе CORINE Land Cover извршена је анализа намене земљишта на територији Града Београда. Тако је промена температуре ваздуха у Београду доведена у везу са општим трендом урбанизације. Ради што прецизније анализе, коришћене су и одређене квантитативне методе, попут Ман-Кендал и Петит теста. Сврха њиховог коришћења јесте утврђивање тренда кретања температуре ваздуха и периода када је дошло до већих промена. Поред локалне анализе, рад нуди и ширу перспективу кроз компарацију са развојем других вишемилионских градова у свету. На тај начин су утврђени универзални обрасци кретања температуре ваздуха у урбаним зонама. Резултати истраживања пружају јасну слику о динамици промене температуре у Београду. У посматраном периоду постоји значајан растући тренд, што значи да се вредности температуре ваздуха повећавају током времена. То је нарочито изражено од 1997. године, која је узета као кључна тачка промене. Посматрано по сезонама, у анализираном периоду дошло је до значајног пораста вредности температуре у свим годишњим добима. На месечном нивоу, значајан растући тренд забележен је током пролећних и летњих месеци (март–август), нарочито у јулу. Добијени резултати, са становишта науке, потврђују допринос урбанизације променама локалне климе. Због тога је неопходно нагласити значај стратешког планирања развоја урбаних зона у циљу ублажавања негативних ефеката топлотног острва.

Кључне речи: урбано острво топлоте, ГИС, Ман-Кендал и Петит тест, урбанизација, температура ваздуха.

Application of Quantitative and GIS Methods in the Study of the Urban Heat Island of Belgrade (1954–2024)

Tijana Radosavljević¹, Slađana Popović¹ and LJeposava Plakalović²*

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

² University of Business Studies in Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* tijana.radosavljevic.2000@gmail.com

The phenomenon of the Urban Heat Island has become one of the most significant challenges in modern climatology, especially in the context of increasingly pronounced global climate change. It is defined as the occurrence when an urban area is considerably warmer compared to the outskirts of the city or surrounding rural areas. As the primary cause of the emergence of a specific type of climate—the climate of cities—the Urban Heat Island effect influences the life and work of urban populations, as well as the ecological balance of their immediate environment.

This paper is based on a detailed study of Belgrade's Urban Heat Island phenomenon over a seventy-year period (1954–2024). The research focuses on monitoring changes in nighttime air temperatures, since the city's thermal anomaly is most evident after sunset. At that time, the urban fabric emits heat accumulated during the day, while rural areas “cool down”. The main causes of this anomaly are exhaust gases, uncontrolled and unplanned construction, concrete surfaces, and asphalt. These factors hinder or completely prevent the free movement and cleansing of air, leading to the accumulation of large amounts of heat. Contributing factors also include the lack or reduction of green spaces, which otherwise mitigate air temperature values in urban environments. Monitoring the development of the Urban Heat Island is important primarily for human health in cities. Almost every year, an increased number of heat strokes and respiratory illnesses are recorded, which can be linked to this phenomenon. Using QGIS software, spatial and temporal analyses of data from the Belgrade meteorological station ($\varphi=44^{\circ}48'$, $\lambda=20^{\circ}28'$) were conducted, applying the “hot spots” method. Additionally, land-use analysis was performed using the CORINE Land Cover geospatial database for the territory of Belgrade. Thus, changes in air temperature were correlated with the general trend of urbanization. For more precise analysis, quantitative methods such as the Mann-Kendall and Pettitt tests were applied, with the purpose of determining temperature trends and identifying periods of major change. Beyond the local analysis, the paper offers a broader perspective through comparison with the development of other megacities worldwide, establishing universal patterns of air temperature trends in urban zones. The results provide a clear picture of the dynamics of temperature change in Belgrade. During the observed period, there is a significant upward trend, meaning air temperatures have increased over time. This is particularly evident from 1997, identified as a key turning point. Seasonal analysis shows a notable rise in temperatures across all seasons, while monthly data reveal a strong upward trend during spring and summer months (March–August), especially in July. From a scientific standpoint, the findings confirm the contribution of urbanization to local climate change. Therefore, strategic planning of urban development is essential to mitigate the negative effects of the heat island phenomenon.

Keywords: urban heat island, GIS, Mann-Kendall and Pettitt test, urbanization, air temperature.

Појава и трајање сушних периода као детерминанти ризика од шумских пожара: пример Источне Србије

Станимир Живановић¹, Милена Гоцић^{2} и Милена Ристић²*

¹ Сектор за ванредне ситуације, Београд, Србија

² Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет, Департман за географију и туризам, Ниш, Србија

* milena.nikolic@pmf.edu.rs

Дефицит падавина и продужени сушни периоди представљају кључне метеоролошке факторе који утичу на настанак и ширење шумских пожара. У овом раду анализира се однос између климатских услова и појаве шумских пожара коришћењем дневних података о падавинама и максималној температури ваздуха са метеоролошке станице За-

јечар за период 2011–2024. године. Подручје истраживања обухвата Зајечарски управни округ, са Зајечаром као административним центром у коме је лоцирана метеоролошка станица. Трајање сушних периода, изражено кроз индекс узастопних сушних дана израчунат је на основу дневних података о падавинама и интегрисан у модел бинарне логистичке регресије. Добијени модел показује статистички значајне и поуздане предиктивне перформансе за све анализиране променљиве. Максимална дневна температура ваздуха и вредности узастопних сушних дана издвајају се као кључни фактори који одређују вероватноћу појаве шумских пожара. Анализа сезонских образаца указује на изражен максимум активности пожара током марта и априла (38,4% укупно евиденираних пожара), као и у периоду август–септембар (33,9%), што упућује на закључак да интензивни сушни услови током јесењег и зимског периода значајно доприносе повећању ризика од пожара у наредној пролећној сезони. Добијени резултати пружају квантитативну основу за унапређење процене ризика од шумских пожара и представљају значајну подршку доношењу одлука заснованих на научним доказима у области управљања шумским екосистемима, са циљем смањења еколошке деградације и економских губитака изазваних шумским пожарима.

Кључне речи: сушни периоди, шумски пожари, бинарна логистичка регресија, Зајечарски управни округ.

Dry Period Timing and Duration as Determinants of Forest Fire Risk: Evidence from Eastern Serbia

Stanimir Živanović¹, Milena Gocić^{2*} and Milena Ristić²

¹ Emergency Management Sector of Serbia, Belgrade, Serbia

² University of Niš, Faculty of Science and Mathematics, Department of Geography and Tourism, Niš, Serbia

* milena.nikolic@pmf.edu.rs

Precipitation deficits and prolonged dry periods are key meteorological drivers of forest fire occurrence and spread. This study examines the relationship between climatic conditions and forest fire occurrence using daily precipitation and maximum air temperature data from the Zaječar meteorological station for the period 2011–2024. The study area is the Zaječar Administrative District, with Zaječar as its central city, where the meteorological station is situated. Dry spell duration, expressed as Consecutive Dry Days (CDD), was calculated from daily precipitation records and incorporated into a binary logistic regression framework. The model demonstrates statistically robust predictive performance for all predictors. Daily maximum air temperature and CDD are the primary determinants of forest fire occurrence. Seasonal patterns show peak fire activity during March–April (38.4% of total recorded fires) and August–September (33.9%), indicating that pronounced meteorological drought conditions in autumn and winter significantly increase fire susceptibility in the following spring. These findings provide a quantitative basis for improved fire risk assessment and support evidence-based decision-making in forest management to mitigate ecological degradation and economic losses associated with forest fires.

Keywords: dry spells, forest fires, binary logistic regression, Zaječar Administrative District.

Земљишни покривач у функцији пољопривредне производње. Студија случаја: Шљивовичка планина са подгорином у Источној Србији

Јелена Живковић^{1*}

¹ Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет, Департман за географију и туризам, Ниш, Србија

* jelena.zivkovic@pmf.edu.rs

Знања о земљишту и њихова веза са људском делатношћу развијала су се паралелно са пољопривредом. Још су неолитске људске групације при бирању локације насеља разматрале плодност земљишта и њихову „способност“ да обезбеде храну. И данас оцена земљишног покривача заузима посебно место у вредновању природних услова битних за пољопривреду. Гајење биљака на земљишту, пре свега оних које се користе у исхрани, обезбеђује му улогу једног од најважнијих природних ресурса, док истовремено оно обезбеђује и животни простор за људе, заштиту биодиверзитета, културног наслеђа и друго. Циљеви рада су дефинисање педосистемских јединица (типова тла) и њихов размештај на простору Шљивовичке планине са подгорином, као и оцена вредности издвојених типова тла за пољопривредну производњу. Методе рада су укључивале анализу постојеће литературе, педолошких и топографских карата, теренски рад и картографски метод. Картографски метод је коришћен за израду карте типова земљишта на основу педолошких карата СФРЈ, док су теренска истраживања била кључна за верификацију података са карата. Један од показатеља плодности и производне способности је бонитет земљишта који је анализиран на основу постојеће литературе. Према класификацији која се данас примењује у Србији, земљиште се разврстава у групе различитог нивоа: редове, класе, типове, подтипове, варијетете и форме. Шљивовичку планину и подгорину прекривају земљишта аутоморфног и хидроморфног реда. Земљишта аутоморфног реда заузимају 94,26% површине Шљивовичке планине и подгорине и представљена су трима класама: класом неразвијених земљишта, хумусно-акумулативним земљиштима и камбичним земљиштима. У оквиру класе неразвијених земљишта на територији Шљивовичке планине са подгорином, заступљена су три типа: камењар, сирозем и колувијално земљиште. Класа хумусно-акумулативних земљишта је представљена са три типа: кречњачко-доломитном црницом, рендзином и смоницом. Са аспекта пољопривредне производње у посматраном простору смонице су један од најзначајнијих земљишних типова и у саставу педолошког покривача учествују са 13,2%. Унутар класе камбичних земљишта, заступљена су два типа: гајњаче (еутрични камбисоли) и смеђа земљишта на кречњацима и доломитима (калкокамбисоли). Различити подтипови, варијетети и форме гајњача у педолошком покривачу учествују са 21,85%. У подгорини Шљивовичке планине на њима је заступљена производња ратарских, повртарских, воћарских и виноградарских култура, док се литичне гајњаче на северним падинама Шљивовичке планине налазе под листопадном, углавном буковом и храстовом шумом. Други тип камбичних земљишта представљен је смеђим земљиштем на кречњацима и доломитима (калкокамбисолима), а у педолошком саставу укупне територије учествује са 10,88%. Ред хидроморфних земљишта заступљен је класом флувијалних земљишта и типом алувијалних земљишта. Алувијална земљишта (флувисоли) учествују у педолошком покривачу са 5,74%. На њима је заступљено узгајање ратарских и повртарских култура. Квалитет земљишног покривача

Шљивовичке планине и подгорине је процењен на основу извршене бонификације земљишта у Понишављу. У том смислу најквалитетнија земљишта припадају другој бонитетној класи, која је представљена алувијалним земљиштем. Земљишта друге, треће и четврте класе су погодна за гајење већине пољопривредних култура. Због тога је у ареалу њиховог простирања пољопривредна производња најинтензивнија.

Кључне речи: земљиште, типови, Шљивовичка планина, Србија.

Soil Cover and Agricultural Land Use. A Case Study: Šljivovička Planina Mountain and Its Foothill in Eastern Serbia

Jelena Živković¹*

¹ University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Geography and Tourism, Niš, Serbia

* jelena.zivkovic@pmf.edu.rs

Soil knowledge and its relationship with human activity developed in parallel with agriculture. As early as the Neolithic, human groups considered soil fertility and its “ability” to provide food when choosing settlement locations. Even today, the evaluation of soil cover occupies a special place in assessing natural conditions important for agriculture. The cultivation of plants on soil, especially those used for food, gives it the role of one of the most important natural resources, while at the same time it provides living space for humans, protection of biodiversity, cultural heritage, and more. The objectives of this paper are to define and map pedosystem units (soil types) in the area of Šljivovička planina Mountain with its foothill zone (Podgorina), as well as to assess the value of the identified soil types for agricultural production. The research methods included the analysis of existing literature, pedological and topographic maps, fieldwork, and the cartographic method. The cartographic method was used to produce a soil type map based on the pedological maps of the former SFRY, while field research was crucial for verifying map data. One of the indicators of fertility and production capacity is the soil quality rating, which was analyzed based on existing literature. According to the classification currently applied in Serbia, soils are categorized into groups of different levels: orders, classes, types, subtypes, varieties, and forms. Šljivovička planina Mountain and its foothill zone are covered by soils of the automorphic and hydromorphic orders. Automorphic soils occupy 94.26% of the area and are represented by three classes: undeveloped soils, humus-accumulative soils, and cambic soils. Within the class of undeveloped soils, three types are present in the study area: lithosols (rocky soils), regosols, and colluvial soils. The class of humus-accumulative soils is represented by three types: calcareous–dolomitic chernozem, rendzina, and vertisol (smonica). From the perspective of agricultural production, vertisols are among the most important soil types in the study area, accounting for 13.2% of the pedological cover. Within the class of cambic soils, two types are represented: eutric cambisols (gajnjača) and brown soils on limestones and dolomites (calco-cambisols). Different subtypes, varieties, and forms of eutric cambisols make up 21.85% of the soil cover. In the foothill zone of Šljivovička planina Mountain, these soils are used for the production of field crops, vegetables, fruit, and vineyards, while lithic cambisols on the northern slopes are covered by deciduous forests, mainly beech and oak. The second type of cambic soils – brown soils on limestones and dolomites (calco-cambisols) –

accounts for 10.88% of the total area. The hydromorphic soil order is represented by the class of fluvial soils, specifically alluvial soils (fluvisols), which make up 5.74% of the pedological cover. These soils are used for growing field and vegetable crops. The quality of the soil cover of Šljivovička planina Mountain and its foothill zone was assessed based on soil bonitation conducted in the Nišava region. In this sense, the highest-quality soils belong to the second bonitation class, represented by alluvial soils. Soils of the second, third, and fourth classes are suitable for cultivating most agricultural crops. Therefore, agricultural production is most intensive in the areas where these soils are distributed.

Keywords: soil, types, Šljivovička Planina Mountain, Serbia.

Географско-медицински приказ акутне реуматске грознице: студија случаја пацијената Института за кардиоваскуларне болести Војводина

Емина Кричковић^{1}, Тин Лукић^{2,1,3}, Анастасија Стојшић Милосављевић⁴
и Зоран Кричковић⁵*

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, Србија

³ Приватна интернационална школа „Руђер Бошковић”, Београд, Србија

⁴ Институт за кардиоваскуларне болести Војводине, Сремска Каменица, Србија

⁵ Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, Србија

* emina.krickovic@gef.bg.ac.rs

Акутна реуматска грозница (АРГ) представља мултисистемски инфламаторни поремећај који настаје као последица абнормалног имунолошког одговора на инфекцију бактеријом групе *A Streptococcus*. Болест може захватити више органских система, укључујући срце, зглобове, кожу и централни нервни систем. Током последњих неколико деценија забележен је значајан пад учесталости АРГ, што се доводи у везу са широком применом антибиотика у терапији стрептококних инфекција, бољом доступношћу здравствене заштите, као и унапређењем животног стандарда. Ипак, АРГ и даље представља значајан јавно-здравствени проблем у појединим регионима, укључујући и Републику Србију. Циљ овог рада представља географско-медицинску анализу АРГ код пацијената лечених у Институту за кардиоваскуларне болести Војводине (ИКБВ) у Сремској Каменици у периоду 1995–2023. године. Истраживање обухвата анализу просторне дистрибуције оболелих на нивоу насеља, као и демографских карактеристика пацијената, укључујући полну, старосну и образовну структуру. Резултати истраживања указују да су случајеви АРГ регистровани у 12 насеља, са највећим бројем оболелих у Новом Саду (16), затим у Бачкој Паланци (6) и Ветернику (4), док су у Бечеју и Новом Милошеву забележена по два случаја. У осталим насељима (Буковац, Рума, Сомбор, Крушчић, Светозар Милетић, Шајкаш и Клек) евидентиран је по један случај. АРГ се учесталије јављала код женске (64,86%), него код мушке популације (35,14%). Најстарији пацијент је имао 82

године, а најмлађи 22, са медијалном вредношћу свих забележених пацијената – 45 година старости. Образовна структура је показала да је највише случајева забележено са средњом и високом стручном спремом – по 11 случајева, са вишом стручном спремом – 4 случаја, са основним образовањем – 2 случаја и без формалног образовања – 1 случај. Код 8 пацијената није евидентиран ниво стручне спреме. Од укупног броја забележених пацијената са АРГ, два пацијента су преминула у ИКБВ, оба мушког пола. Први смртни исход забележен је 2011. године код пацијента старости 46 година, док је други регистрован 2015. године код пацијента старости 62 године. Географско-медицинска анализа АРГ омогућава идентификацију ризичних подручја и осетљивих популационих група, што може допринети ефикаснијем планирању превентивних мера и унапређењу здравствене заштите. Такође, резултати овог истраживања могу послужити као основа за даља епидемиолошка и интердисциплинарна истраживања у циљу бољег разумевања фактора који утичу на појаву и дистрибуцију ове болести. *Захвалница:* Ова студија је подржана кроз Програм сарадње са српском научном дијаспором – Заједнички истраживачки пројекти – DIASPORA 2023, који финансира Фонд за науку Републике Србије, у оквиру пројекта The Loess Plateau Margins: Towards Innovative Sustainable Conservation – LAMINATION, број пројекта: 17807, као и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (бр. 451-03-137/2025-03/200125, 451-03-136/2025-03/200125 и 451-03-33/2026-03/200091).

Кључне речи: акутна реуматска грозница, Институт за кардиоваскуларне болести Војводине, јавно здравље, географско-медицинска анализа.

Geographical-Medical Overview of Acute Rheumatic Fever: A Case Study of Patients Treated at the Institute of Cardiovascular Diseases of Vojvodina

Emina Kričković^{1*}, Tin Lukić^{2,1,3}, Anastazija Stojić Milosavljević⁴ and Zoran Kričković⁵

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Geography, Tourism and Hotel Management, Novi Sad, Serbia

³ Ruđer Bošković School, Belgrade, Serbia

⁴ Institute of Cardiovascular Diseases of Vojvodina, Clinic of Cardiology, Sremska Kamenica, Serbia

⁵ Military Geographical Institute "General Stevan Bošković", Belgrade, Serbia

* emina.krickovic@gef.bg.ac.rs

Acute rheumatic fever (ARF) is a multisystem inflammatory disorder that develops as a consequence of an abnormal immune response to infection caused by *A Streptococcus* bacteria. The disease may affect multiple organ systems, including the heart, joints, skin, and central nervous system. Over the past several decades, a significant decline in the incidence of ARF has been observed, which is associated with the widespread use of antibiotics in the treatment of streptococcal infections, improved access to healthcare, and enhanced living standards. Nevertheless, ARF remains an important public health issue in certain regions, including the Republic of Serbia. The aim of this study is to provide a geographical-medical analysis of

ARF among patients treated at the Institute of Cardiovascular Diseases of Vojvodina (ICDV) in Sremska Kamenica during the period 1995–2023. The research includes an analysis of the spatial distribution of affected patients at the settlement level, as well as their demographic characteristics, including sex, age, and educational structure. The results indicate that ARF cases were registered in 12 settlements, with the highest number of patients recorded in Novi Sad (16), followed by Bačka Palanka (6) and Veternik (4), while two cases each were identified in Bečej and Novo Miloševo. In the remaining settlements (Bukovac, Ruma, Sombor, Kruščić, Svetozar Miletić, Šajkaš, and Klek), one case was recorded in each. ARF occurred more frequently in the female population (64.86%) than in the male population (35.14%). The oldest patient was 82 years old, while the youngest was 22, with a median age of 45 years. The educational structure showed that the highest number of cases was recorded among patients with secondary and higher education – 11 cases each – followed by those with college-level education (4 cases), primary education (2 cases), and no formal education (1 case). For 8 patients, the level of education was not recorded. Out of the total number of registered ARF patients, two patients died at the ICDV, both male. The first death was recorded in 2011 in a 46-year-old patient, while the second was registered in 2015 in a 62-year-old patient. The geographical-medical analysis of ARF enables the identification of high-risk areas and vulnerable population groups, which may contribute to more effective planning of preventive measures and improvement of healthcare services. Furthermore, the results of this study may serve as a basis for future epidemiological and interdisciplinary research aimed at a better understanding of the factors influencing the occurrence and distribution of this disease. *Acknowledgments:* This study was supported by the Program of Cooperation with the Serbian Scientific Diaspora – Joint Research Projects – DIASPORA 2023, from the Science Fund of the Republic of Serbia, under the project LAMINATION (The Loess Plateau Margins: Towards Innovative Sustainable Conservation), Project number: 17807 and the support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/200125, 451-03-34/2026-03/200125 and 451-03-33/2026-03/200091).

Keywords: acute rheumatic fever, Institute of Cardiovascular Diseases of Vojvodina, public health, geographical-medical analysis.

Просторно-демографска дистрибуција стране радне снаге у Србији

Даница Шантић^{1*}

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

* danica.santic@gef.bg.ac.rs

У условима деценијске депопулације и интензивне емиграције, Република Србија последњих година бележи пораст броја страних радника, што указује на структурну трансформацију организације економских активности и расподеле становништва. Овај процес се одвија просторно селективно, пратећи постојећу урбану хијерархију, развојне коридоре и функционалне регионе са већом концентрацијом економских активности. Циљ рада је анализа просторне дистрибуције страних радника, са посебним освртом на

Београдски регион као доминантни имиграциони центар, као и на индустријске зоне и инфраструктурне правце у Војводини и Централној Србији. Полази се од претпоставке да ангажовање стране радне снаге, поред ублажавања дефицита радника у појединим секторима, истовремено утиче на продубљивање просторних неједнакости између динамичних урбаних језгара и периферних, депопулационих подручја. Методолошки приступ обухвата анализу података о издатим јединственим дозволама, демографски профил страних радника у Србији, као и њихову регионалну расподелу. Резултати указују на јасну просторну концентрацију страних радника у Србији, пре свега у секторима грађевинарства, производње, логистике и услуга, што указује на селективни карактер миграционих токова и њихову повезаност са економским потребама различитих региона. Дистрибуција страних радника прати развојне коридоре и урбану хијерархију, указујући на просторне неједнакости у доступности радне снаге и концентрацију миграционих токова у економски активним регионима. Присуство стране радне снаге у Србији није изолован процес већ је део ширих европских миграционих токова и политика тржишта рада, при чему Србија игра кључну транзитну и регулаторну улогу у координацији ангажовања радника у складу са процедурама и механизмима Европске уније за управљање мобилношћу радне снаге.

Кључне речи: миграције, страна радна снага, просторно-демографска дистрибуција, Србија.

Spatial-Demographic Distribution of Foreign Labour in Serbia

Danica Šantić^{1*}

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

* danica.santic@gef.bg.ac.rs

Over the past decade, marked by depopulation and substantial emigration, the Republic of Serbia has experienced a notable increase in the number of foreign workers. This trend signals a structural transformation in the organisation of economic activities and the distribution of the population. The influx of foreign labour is spatially selective, aligning with the country's urban hierarchy, development corridors, and functional regions that concentrate economic activity. This study analyses the spatial distribution of foreign workers, with special attention to the Belgrade region as the dominant immigration centre, as well as to industrial zones and infrastructural corridors in Vojvodina and Central Serbia. It is posited that the engagement of foreign labour, while mitigating sector-specific labour shortages, also contributes to widening spatial disparities between dynamic urban centres and peripheral, depopulating areas. The methodological approach includes analysing data on issued work permits, demographic characteristics of foreign workers in Serbia, and their regional distribution. The findings reveal a pronounced spatial concentration of foreign workers, especially in construction, manufacturing, logistics, and service sectors. This pattern underscores the selective nature of migration flows and their connection to the economic needs of different regions. The distribution of foreign workers mirrors development corridors and the urban hierarchy, accentuating spatial inequalities in labour accessibility and the clustering of migration flows in economically active regions. The presence of foreign workers in Serbia also reflects broader European migration dynamics and labour

market policies. Serbia has emerged as a key transit point and regulatory hub, managing the employment of foreign workers in accordance with European Union procedures and labour mobility frameworks.

Keywords: migration, foreign labour, spatial-demographic distribution, Serbia.

Демографска одрживост Републике Српске и улога младих

*Драшко Маринковић¹**

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* drasko.marinkovic@pmf.unibl.org

Демографска одрживост представља један од кључних развојних изазова Републике Српске, имајући у виду дуготрајне негативне демографске трендове који се огледају у ниском природном прираштају, интензивном старењу становништва и континуираним миграцијама младог, радно способног и фертилног становништва. У том контексту, улога младих у процесима планирања породице и доношења одлука о останку или одласку добија посебан значај. Циљ рада је анализа ставова младих о заснивању породице, репродуктивним намјерама и миграционим одлукама, као и утврђивање кључних друштвено-економских фактора који утичу на њихове одлуке. Рад се заснива на резултатима анкетног истраживања спроведеног на репрезентативном узорку младих, уз примјену демографског метода, системско-структурне анализе и статистичке обраде података. Полазна хипотеза рада јесте да, упркос присутним економским и друштвеним ограничењима, код младих постоји изражена жеља за останком у Републици Српској и заснивањем породице, али да је њена реализација условљена побољшањем животног стандарда, могућности запошљавања и стамбеног збрињавања. Резултати истраживања доприносе бољем разумијевању фактора који обликују демографско понашање младих, те представљају научну основу за креирање мјера пронаталитетне и омладинске политике. Рад наглашава значај интегрисаног приступа демографској политици, усмјереног на стварање услова за демографску обнову и дугорочну одрживост Републике Српске.

Кључне ријечи: демографска одрживост, млади, Република Српска.

Demographic Sustainability of the Republic of Srpska and the Role of Young People

Draško Marinković¹*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* drasko.marinkovic@pmf.unibl.org

Demographic sustainability represents one of the key development challenges of the Republic of Srpska, given the long-term negative demographic trends reflected in low natural population growth, intensive population ageing, and continuous migration of young, working-age, and fertile population groups. In this context, the role of young people in family planning processes and in making decisions about staying or leaving acquires particular importance. The aim of this paper is to analyse young people's attitudes towards family formation, reproductive intentions, and migration aspirations, as well as to identify the key socio-economic factors influencing their decisions. The study is based on the results of a survey conducted on a representative sample of young people, using demographic methods, systems-structural analysis, and statistical data processing. The main hypothesis of the study is that, despite existing economic and social constraints, young people demonstrate a strong desire to remain in the Republic of Srpska and start families, but that the realization of these intentions depends on improvements in living standards, employment opportunities, and housing conditions. The research findings contribute to a better understanding of the factors shaping the demographic behaviour of young people and provide a scientific basis for the development of pronatalist and youth policy measures. The paper emphasizes the importance of an integrated approach to demographic policy aimed at creating conditions for demographic renewal and the long-term sustainability of the Republic of Srpska.

Keywords: demographic sustainability, young people, Republic of Srpska.

Проблеми демографског развоја граничних и периурбаних насеља Пиротске области

Марко Седлак¹*, Немања Јосифов¹ и Владимир Малинић¹

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

* marko.sedlak@gef.bg.ac.rs

У раду су анализирани демографски проблеми на студији једне од депопулационо најугроженијих области Србије. Демографски проблеми су комплексан феномен који је значајан за разматрање развојних проблема одређене области. Примарни фокус је на депопулацији, која је покретач смањења природног прираштаја и углавном непољовне

старосне, образовне и економске структуре становништва. Ова насеља се претежно одликују старијим и углавном економски неактивним становништвом. Значај ове теме огледа се у идентификовању кључних демографских проблема ове области са циљем да се на тај начин ови подаци употребе у будућим развојним стратегијама и ревитализацији овог периферног и маргиналног дела Србије. Примарни циљ је идентификација кључних демографских проблема у Пиротској области. Из њега проистиче више секундарних циљева: компарација разлика између насеља која се налазе на граници са Бугарском у односу на периурбана насеља која се налазе у окружењу градских насеља; предочавање негативних демографских процеса од локалног, преко регионалног до националног проблема; указивање на пројекције будућег демографског развоја уколико се наведене тенденције наставе. У раду су коришћени подаци Републичког завода за статистику за пописе становништва из 2002, 2011. и 2022. године. Територија истраживања обухвата Пиротску област у чијем саставу се налази четири јединице локалне самоуправе: Пирот, Димитровград, Бабушница и Бела Паланка. Ова територија има укупно 214 насеља. У њој се главни демографски проблеми рефлектују кроз пад броја становника (са 105.654 у 2002. на 76.700 у 2022. години), старење становништва (са 43,5 година у 2002. години на 47,2 године у 2022. години), све неповољнији однос младог и старијег становништва (у 2022. години било је 12% младог становништва и 27% становништва старијег од 65 година). Примарни метод у овом раду је примена индекса демографске депресије. Овај синтетички показатељ се добија на основу осам показатеља: удео становништва до 14 година старости; удео становника старијег од 65 година; удео становништва старијег од 80 година; удео становништва старог 75 и више година у укупном броју становника старог 65 и више година; просечна старост; индекс старења; коефицијент економске зависности. Вредности индекса демографске депресије крећу се у распону од 0 до 1. што су оне веће, то указују на виталнија насеља. Класификација добијених вредности је извршена на пет категорија: А категорија која означава озразито депресиван простор (вредности у распону од 0 до 0,16), Б категорија слабије депресиван простор (0,17–0,31), Ц категорија – простор на рубу демографске депресије (0,32–0,47), Д категорија – виталан простор (0,48–0,66), Е категорија – изразито виталан простор (0,67–1). Према подацима из 2022. године 93 насеља се налазило у А категорији, 60 насеља у Б категорији, 40 насеља у Ц категорији, 20 насеља у Д категорији и 1 насеље у Е категорији. Закључна разматрања се односе на идентификовање кључних демографских проблема у највећем броју насеља Пиротске области, али и веће виталности периурбаних насеља. Имплементација развојних стратегија и инвестиција у ову област покреће са собом и питање економске оправданости, с обзиром на иреверзибилност негативних демографских тенденција на великом делу ове територије.

Кључне речи: сенилизација, маргинализација, периферија, депопулација, Пиротска област (Србија).

Problems of Demographic Development of the Border and Peri-Urban Settlements of the Pirot Region

Marko Sedlak^{1}, Nemanja Josifov¹ and Vladimir Malinić¹*

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

* marko.sedlak@gef.bg.ac.rs

The paper analyzes the demographic problems in a study area of one of the most demographically threatened areas of Serbia. Demographic problems are a complex phenomenon that is significant for considering the developmental issues of a particular area. The primary focus is on depopulation, which is a driver of the decline in natural population growth and a largely non-agricultural age, educational, and economic structure of the population. These settlements are predominantly characterized by an older and generally economically inactive population. The significance of this topic lies in identifying the key demographic problems of this area, with the goal of using this data in future development strategies and the revitalization of this peripheral and marginal part of Serbia. The primary goal is the identification of key demographic problems in the Pirot region. From this, several secondary goals stem: a comparison of the differences between settlements bordering Bulgaria and peri-urban settlements located in the vicinity of urban areas; presenting negative demographic processes from a local, through a regional, to a national problem; pointing out projections of future demographic development if the aforementioned trends continue. The paper uses data from the Republic Statistical Office for the 2002, 2011, and 2022 population censuses. The study area includes the Pirot region, which consists of four municipalities: Pirot, Dimitrovgrad, Babušnica, and Bela Palanka. This territory has a total of 214 settlements. The main demographic problems are reflected in a decline in the number of inhabitants (from 105,654 in 2002 to 76,700 in 2022), and an aging population (from 43.5 years in 2002 to 47.2 years in 2022. years), and an increasingly unfavorable young-to-old population ratio (in 2022, there was 12% young population and 27% population over 65 years old). The primary method in this paper is the application of the demographic depression index. This composite indicator is derived from eight indicators: the share of the population under 14 years of age; the share of residents over 65 years of age; the share of the population over 80 years of age; the share of the population aged 75 and over in the total population aged 65 and over; average age; aging index; economic dependency ratio. The values of the demographic depression index range from 0 to 1, with higher values indicating more vital settlements. The obtained values were classified into five categories: Category A, which denotes a highly depressive space (values in the range of 0 to 0.16); Category B, a less depressive space (0.17–0.31), C category – area on the edge of demographic depression (0.32–0.47), D category – vital area (0.48–0.66), E category – highly vital area (0.67–1). According to 2022 data, 93 settlements were in category A, 60 in category B, 40 in category C, 20 in category D, and 1 in category E. The concluding remarks relate to identifying the key demographic problems in the majority of settlements in the Pirot region, as well as the greater vitality of peri-urban settlements. The implementation of development strategies and investments in this area also raises the question of economic viability, given the irreversibility of negative demographic trends in a large part of this territory.

Keywords: senilization, marginalization, periphery, depopulation, Pirot Region (Serbia).

Регионалне демографске диспропорције: пример одабраних пограничних и унутрашњих јединица локалне самоуправе у Србији

Радослав Ранковић^{1} и Слађана Поповић¹*

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

* rankovicradoslav3@gmail.com

Највећи део територије Србије одликује се неповољним демографским процесима, што је последица различитих развојних прилика које су се дешавале током претходног века. Иако се јединице локалне самоуправе могу значајно разликовати, опште становиште је да су пограничне јединице локалне самоуправе мање развијене у односу на унутрашње, што је утицало на појаву регионалних демографских диспропорција у Србији. У складу са тим, предмет рада односи се на анализу одабраних индикатора (индекс промене броја становника у последњем међупописном периоду, просечна старост, индекс старења, коефицијент старосне зависности и удео жена у фертилном периоду у укупном становништву) за пет пограничних (Бајина Башта, Љубовија, Прибој, Ужице и Чајетина) и пет унутрашњих (Аранђеловац, Лазаревац, Љиг, Младеновац и Топола) јединица локалне самоуправе у Србији. Територијални обухват истраживања установљен је по принципу случајног одабира, а циљ рада је подразумевао квантитативно потврђивање опште тезе. У раду су примењени статистички, картографски и компаративни метод, а резултати показују да се унутрашње јединице локалне самоуправе одликују повољнијим просечним вредностима свих пет анализираних показатеља. Одабране унутрашње јединице локалне самоуправе су изгубиле мање становништва у периоду 2011–2022. године, њихово становништво је било просечно млађе, вредности индекса старења и коефицијента старосне зависности су биле мање, док је удео жена у фертилном периоду у укупној популацији био већи. Такође, у случају поређења појединих јединица локалне самоуправе или насеља понаособ, присутне су оне административно-територијалне јединице које могу одступати од правила унутрашњост–погранични простор. То је предодређено специфичним локалним факторима попут географског положаја, природних карактеристика простора, саобраћајне повезаности, функционалне опремљености итд. Добијени резултати могу служити у функцији праћења достигнутог нивоа регионалног развоја издвојених територија према одабраним показатељима, на основу којих је неопходно успоставити механизме којима ће се неповољне развојне тенденције успорити.

Кључне речи: пограничне јединице локалне самоуправе, унутрашње јединице локалне самоуправе, регионалне демографске диспропорције, регионални развој, Србија.

Regional Demographic Disproportions: An Example of Selected Border and Interior Local Self-Government Units in Serbia

Radoslav Ranković^{1} and Slađana Popović¹*

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

* rankovicradoslav3@gmail.com

The majority of Serbia's territory is characterized by unfavorable demographic trends, largely resulting from uneven development trajectories over the past century. Although local self-government units differ significantly, it is generally assumed that border local self-government units are less developed than interior ones, contributing to pronounced regional demographic disproportions. Accordingly, this paper analyzes selected demographic indicators – population change index during the latest intercensal period, average age, aging index, age dependency ratio, and the share of women of reproductive age in the total population – across ten local self-government units. The analysis includes five border (Bajina Bašta, Ljubovija, Priboj, Užice, and Čajetina) and five interior local self-government units (Arandelovac, Lazarevac, Ljig, Mladenovac, and Topola). The study area was defined based on a random selection approach, while the primary aim was to quantitatively verify the main hypothesis. Statistical, cartographic and comparative methods were used in this research and the results indicate that interior local self-government units are characterized by more favorable average values across all five analyzed indicators. In the period 2011–2022, these areas experienced lower population decline, their population was on average younger, also recorded a lower aging index and age dependency ratio, and had a higher share of women of reproductive age in total population. At the same time, analysis at the level of individual local self-government units or settlements reveals deviations from the general border–interior pattern. These exceptions are influenced by specific local factors, including geographical location, natural conditions, transport connectivity, the level of functional development etc. The findings can be used to assess the level of regional development and highlight the need to establish mechanisms to mitigate adverse trends.

Keywords: border local self-government units, interior local self-government units, regional demographic disproportions, regional development, Serbia.

Систем прихвата држављана Босне и Херцеговине на основу споразума о реадмисији

Драгана Видић^{1}*

¹ Републички секретаријат за расељена лица и миграције, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* d.vidic@rsrlm.vladars.rs

Управљање миграцијама има веома сложену структуру. У оквиру миграционе политике Европске уније (ЕУ), споразуми о реадмисији представљају инструмент у борби против

незаконитих миграција. Повратак у матичну земљу и реадмисија представљају веома важан сегмент у управљању миграцијама, који укључује координацију и сарадњу између земаља одредишта, транзита и поријекла, при чему треба поштовати Повељу ЕУ о основним правима. Циљ рада је да се анализира нормативни и институционални оквир система реадмисије у Босни и Херцеговини, с посебним освртом на расподјелу надлежности и механизме међуинституционалне координације у процесу прихвата и интеграције реадмисираних лица. Полази се од хипотезе да сложена политичко-административна структура Босне и Херцеговине узрокује и сложен систем у спровођењу обавеза у области реадмисије. У раду је примијењена метода анализе садржаја релевантних међународних и домаћих правних и стратешких докумената, као и надлежних институција и актера у Босни и Херцеговини. Споразум о стабилизацији и придруживању је правно обавезујући међународни уговор између ЕУ и земаља Западног Балкана у процесу приступања ЕУ и прилагођавања законодавног оквира европским стандардима. Споразуми о реадмисији (повратак лица која незаконито бораве на територији одређене земље) су међународноправни акти потписани на билатералном нивоу и између држава и ЕУ. Резултати потврђују полазну хипотезу јер у систему реадмисије учествују институције и установе на свим нивоима управљања, као и организације цивилног друштва. Значај рада огледа се у систематизацији нормативног и институционалног оквира у области реадмисије у Босни и Херцеговини и указивању на кључне изазове међуинституционалне координације, што може послужити као основа за унапређење процеса прихвата и интеграције реадмисираних лица.

Кључне ријечи: скупљање градова, транзиција, урбани системи, демографски и функционални развој, Република Српска.

The Reception System of the Bosnia and Herzegovina Citizens Who Return under Readmission Agreements

*Dragana Vidić¹**

¹ Republic Secretariat for Displaced Persons and Migration, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* d.vidic@rsrlm.vladars.rs

Migration management has a very complex structure. Within the framework of the European Union's (EU) migration policy, readmission agreements are an instrument in the fight against illegal migration. Return to the home country and readmission represent a very important segment in migration management, which includes coordination and cooperation between the countries of destination, transit and origin, while respecting the EU Charter of Fundamental Rights. The aim of the paper is to analyze the normative and institutional framework of the readmission system in Bosnia and Herzegovina, with a special focus on the distribution of competencies and mechanisms of inter-institutional coordination in the process of reception and integration of readmitted persons. In order to assess the a priori hypothesis that the complex political and administrative structure of Bosnia and Herzegovina also causes a complex system in the implementation of obligations in the field of readmission, a analysis method of the relevant international and domestic legal and strategic documents, as well as relevant institutions and

stakeholders in Bosnia and Herzegovina was conducted. The Stabilization and Association Agreement is a legally binding international agreement between the EU and the Western Balkan countries in the process of accession to the EU and the adjustment of the legislative framework to European standards. Readmission agreements (the return of persons residing illegally on the territory of a certain country) are international legal acts signed at the bilateral level and between states and the EU. The results confirmed the initial hypothesis, i.e. the readmission system involves institutions and establishments at all levels of governance, as well as civil society organizations. The significance of the paper is reflected in the systematization of the normative and institutional framework in the field of readmission in Bosnia and Herzegovina and in pointing out the key challenges of inter-institutional coordination, which could be used as a basis for improving the process of admission and integration of readmitted persons.

Keywords: return, readmission, integration, Bosnia and Herzegovina, European Union (EU).

Феномен „скупљања“ градова – транзиција урбаног система Републике Српске – узроци и посљедице

Мира Мандић^{1} и Драгица Делић¹*

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* mira.mandic@pmf.unibl.org

Процес урбанизације је глобални процес који се одвија различитом динамиком и испољава просторним посљедицама чији карактер обликују бројни унутрашњи и вањски фактори. Научно-технолошки развој, глобална размјена сировина, енергената, роба и радне снаге убрзавају и усмјеравају развојне процесе утичући на динамику и трансформацију урбаних система чији су функционални потенцијали изложени различитим утицајима и конкуренцији те се морају константно прилагођавати. Стабилност урбаних система је у стабилности урбане привреде и манифестује се у функционалном капацитету, улагањима, урбаној инфраструктури и демографским кретањима. Способност прилагођавања урбаних система испољена је у адаптацији урбаних структура и карактеристикама демографских кретања. Рањивост појединих урбаних система и елемената њихових урбаних структура регионално је диференцирана. Посљедњих деценија због гранског и просторног преразмјештања привреде на глобалном нивоу, примјетно је слабење базних функција градова секторски оријентисаних на металургију и поједине индустрије који демографски и функционално атрофирају. Наведена појава у развијеним земљама, прерасла у процес познат као феномен „скупљања“ градова, наглашено је карактеристична за земље транзиције друштвеног система из социјализма у тржишне односе, дакле и за простор бивше Социјалистичке Федеративне Републике Југославије. У фокусу рада је транзиција урбаног система Републике Српске као посљедица политичке и економске дезинтеграције, грађанског рата и промјене друштвеног система. У раду су анализирани узроци и показатељи демографске и економске „атрофије“ и карактер транзиционе трансформације урбаних насеља у Републици Српској. Компаративном ана-

лизом демографских и социоекономских показатеља утврђене су промјене у величини урбаних насеља и структури привреде, трансформација базних дјелатности које слабе деиндустријализацијом и јачањем сектора услуга и потрошње као показатеља карактера савременог урбаног развоја. Просторно-функционална организација урбаних насеља и њихова динамика одражавају приступ урбаној економији, законе тржишта и приступ урбаном планирању. У раду су кориштене методе географске науке: развојни метод, компаративна анализа, статистичко-математички метод и метод синтезе, а резултати анализе феномена „скупљања“ градова приказани су текстуално, графички и картографски.

Кључне ријечи: скупљање градова, транзиција, урбани системи, демографски и функционални развој, Република Српска.

The Phenomenon of “Shrinking” Cities – Transition of the Urban System of the Republic of Srpska – Causes and Consequences

Mira Mandić and Dragica Delić¹*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* mira.mandic@pmf.unibl.org

Urbanization is a global process that unfolds at different rates and produces spatial consequences whose character is shaped by numerous internal and external factors. Scientific and technological development, together with the global exchange of raw materials, energy resources, goods, and labour, accelerates and directs development processes, influencing the dynamics and transformation of urban systems whose functional potentials are exposed to various influences and competition and therefore require constant adaptation. The stability of urban systems is based on the stability of the urban economy and is manifested through functional capacity, investment, urban infrastructure, and demographic trends. The adaptive capacity of urban systems is reflected in the adaptation of urban structures and in the characteristics of demographic trends. The vulnerability of individual urban systems and elements of their urban structures is regionally differentiated. In recent decades, due to the sectoral and spatial redistribution of the economy at the global level, a weakening of the basic functions of cities sectorally oriented towards metallurgy and certain industrial branches has become evident, leading to their demographic and functional atrophy. This phenomenon, which in developed countries has evolved into a process known as the phenomenon of “shrinking” cities, is particularly characteristic of countries undergoing transition from socialism to market relations, including the area of the former SFRY. The paper focuses on the transition of the urban system of the Republic of Srpska as a consequence of political and economic disintegration, civil war, and changes in the social system. The paper analyses the causes and indicators of demographic and economic “atrophy”, as well as the character of the transitional transformation of urban settlements in the Republic of Srpska. Through a comparative analysis of demographic and socio-economic indicators, changes in the size of urban settlements and in the structure of the economy were identified, as well as the transformation of basic activities, which are weakening due to deindustrialization

and the strengthening of the service and consumption sectors as indicators of the character of contemporary urban development. The spatial-functional organization of urban settlements and their dynamics reflect the approach to the urban economy, market laws, and urban planning. The paper applies methods of geographical research, including a historical-developmental approach, comparative analysis, statistical-mathematical method, and synthesis. The results of the analysis of the phenomenon of “shrinking” cities are presented textually, graphically, and cartographically.

Keywords: shrinking cities, transition, urban systems, demographic and functional development, Republic of Srpska.

Улога климатских и еколошко-пејзажних фактора у одрживом туристичком развоју Споменика природе „Цврцка“

Тања Мишлицки Томић^{1*} и Вукосава Чолић¹

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* tanja.mislicki-tomic@pmf.unibl.org

Одрживи развој заштићених природних подручја у великој мјери зависи од међудјеловања климатских и еколошко-пејзажних фактора који обликују њихову просторну, временску и функционалну осјетљивост, посебно у контексту климатских промјена и одрживог управљања простором. У том оквиру, разумијевање климатских услова и природних карактеристика представља кључни предуслов за процјену климатских ограничења и потенцијала за одрживо коришћење заштићених подручја. Циљ истраживања је анализа улоге климатских и еколошко-пејзажних фактора у обликовању климатске погодности и просторне функционалности Споменика природе „Цврцка“, са фокусом на идентификацију сезонских образаца климатске варијабилности, процјену ограничења и дефинисање потенцијала за одрживи развој туризма у природним подручјима. Истраживање је усмјерено на утврђивање сезонске климатске осјетљивости простора и идентификацију периода са повољнијим и неповољнијим условима за различите активности у природи, укључујући и процјену интензитета коришћења простора у зависности од климатских услова. Анализа је заснована на ERA5 реанализи климатских података (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – ECMWF) за период 1991–2019. године, укључујући средње мјесечне температуре ваздуха и укупне мјесечне падавине као основне климатске индикаторе. Простор истраживања обухвата Споменик природе „Цврцка“ у западном дијелу бањалучке регије, у прелазној зони између планинског и котлинског рељефа, што омогућава анализу локалних климатских услова. Методолошки приступ обухвата сезонску климатску анализу, дескриптивну статистику и интерпретацију еколошко-пејзажних карактеристика, уз интеграцију климатских параметара са природним обиљежјима, укључујући пејзажну структуру, еколошки значај и туристичку атрактивност простора. Развијени су индикатори климатске погодности, укључујући индекс термичког комфора и индикатор падавинске погодности, који омогућавају квантитативну процјену сезонске

туристичке погодности. Повољни климатски услови дефинисани су као температуре у распону од 15–30 °C и падавине испод 100 mm мјесечно, док су вриједности ван ових граница класификоване као условно повољне или неповољне. Резултати указују на изражену сезонску климатску варијабилност, при чему љетни период представља најповољнији оквир за развој активности на отвореном, укључујући рекреативни туризам, екотуризам и активни туризам у природи, док прољеће и јесен имају транзициони карактер са погодним условима за планинарење, излетничке и едукативне активности, а зимски период показује изражена климатска ограничења у коришћењу простора. Закључује се да интеграција климатских и еколошко-пејзажних фактора омогућава процјену туристичког потенцијала и климатских ограничења заштићених подручја, што је значајно за просторно планирање и управљање природним ресурсима у условима повећане климатске осјетљивости. Посебан значај има примјена резултата у дефинисању одрживих модела коришћења простора у оквиру заштићеног подручја „Цврчка“ и прилагођавању туристичке понуде сезонским климатским условима, као и у унапређењу стратегија управљања природним ресурсима.

Кључне ријечи: климатско-туристичка повезаност, сезонска просторна функционалност, заштићена природна подручја, ERA5 реанализа, еколошко-пејзажни фактори.

The Role of Climatic and Eco-Landscape Factors in Sustainable Tourism Development of the “Cvrcka” Nature Monument

Tanja Mišlicki Tomić¹ and Vukosava Čolić¹*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* tanja.mislicki-tomic@pmf.unibl.org

The sustainable development of protected natural areas largely depends on the interaction between climatic and ecological-landscape factors that shape their spatial, temporal, and functional sensitivity, particularly in the context of climate change and sustainable spatial management. Within this framework, understanding climatic conditions and natural characteristics represents a key prerequisite for assessing climatic constraints and the potential for sustainable use of protected areas. The aim of this research is to analyze the role of climatic and ecological-landscape factors in shaping climatic suitability and spatial functionality of the Nature Monument “Cvrcka”, with a focus on identifying seasonal patterns of climatic variability, assessing constraints, and defining the potential for sustainable tourism development in natural areas. The study aims to determine the seasonal climatic sensitivity of the area and to identify periods with more and less favorable conditions for various nature-based activities, including the assessment of intensity of spatial use under varying climatic conditions. The analysis is based on ERA5 reanalysis climate data (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) for the period 1991–2019, including mean monthly air temperature and total monthly precipitation as key climatic indicators. The study area covers the Nature Monument “Cvrcka” in the western part of the Banja Luka region, located in a transitional zone between mountain and valley relief, which enables the analysis of local climatic conditions. The methodological approach includes seasonal climate analysis, descriptive statistics, and the interpretation of ecological

and landscape characteristics, integrating climatic parameters with natural features such as landscape structure, ecological significance, and tourism attractiveness. Climatic suitability indicators were developed, including a thermal comfort index and a precipitation suitability indicator, enabling a quantitative assessment of seasonal tourism suitability. Favorable climatic conditions were defined as temperatures ranging from 15–30 °C and total monthly precipitation below 100 mm, while values outside these ranges were classified as conditionally favorable or unfavorable. The results indicate pronounced seasonal climatic variability, with the summer period identified as the most suitable for outdoor activities, including recreational tourism, eco-tourism, and active nature-based tourism, while spring and autumn represent transitional periods with favorable conditions for hiking, excursion, and educational activities, and the winter period shows significant climatic constraints that reduce spatial usability. It is concluded that the integration of climatic and ecological-landscape factors enables simultaneous assessment of tourism potential and climatic constraints in protected areas, contributing to spatial planning and natural resource management under increasing climate sensitivity. The application of the results is particularly important for defining sustainable spatial use models within the “Cvrcka” protected area and for adapting the tourism offer to seasonal climatic conditions, as well as for improving natural resource management strategies.

Keywords: climate–tourism relationship, seasonal spatial functionality, protected natural areas, ERA5 reanalysis, eco-landscape factors.

Фолклорно наслеђе црногорске етничке заједнице као потенцијал туристичке понуде Војводине

Јелена Миланковић¹, Анђелија Ивков Цигурски¹, Драгана Вуковић
Војновић¹ и Весна Булатовић²*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија

* jelena.milankovic85@gmail.com

Фолклорно наслеђе представља један од највитаљнијих стубова етничког идентитета и пружа значајне могућности за обогаћивање туристичке понуде мултикултуралних средина. У контексту Војводине, црногорска заједница заузима специфично место, будући да је кроз деценије суживота успела да очува аутентичне елементе своје традиције, упркос природним процесима акултурације и прилагођавања новом поднебљу. Рад се заснива на квалитативној анализи, укључујући теренска истраживања, интервјуе са члановима културних удружења и анализу манифестација које доприносе очувању и презентацији фолклорног наслеђа. Овај рад анализира процес трансформације црногорског културног наслеђа из домена приватног породичног живота у јавни простор, са посебним освртом на потенцијал његове туристичке валоризације. Разматрају се кључни елементи материјалне и нематеријалне културе – од специфичне народне ношње и традиционалних игара, све до гастрономских специфичности које су претрпеле извесне промене под утицајем

војвођанске средине. Посебан фокус стављен је на улогу културних удружења и манифестација као институција које директно преносе традицију и служе као платформа за њену презентацију у туристичке сврхе. Закључује се да адекватно представљање црногорског фолклора, кроз организоване манифестације, етно-собе и гастрономске догађаје, може значајно допринети диверзификацији туристичког имиџа Војводине. Овакав приступ не само да доприноси економском развоју, већ служи и као механизам дугорочног очувања културног идентитета црногорске заједнице на овим просторима.

Кључне речи: фолклорно наслеђе, Црногорци, Војводина, културни туризам, етнички идентитет.

Folklore Heritage of the Montenegrin Community as a Tourism Resource in Vojvodina

Jelena Milanković¹, Anđelija Ivkov Džigurski¹, Dragana Vuković Vojnović¹ and Vesna Bulatović²

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Geography, Tourism and Hotel Management, Novi Sad, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

* jelena.milankovic85@gmail.com

Folklore heritage represents one of the most vital pillars of ethnic identity and provides significant opportunities for enriching the tourist offer of multicultural environments. In the context of Vojvodina, the Montenegrin community occupies a specific place, having managed to preserve authentic elements of its tradition through decades of coexistence, despite the natural processes of acculturation and adaptation to a new environment. The research is based on qualitative analysis, including field research, interviews with members of cultural associations, and the analysis of events that contribute to the preservation and presentation of folklore heritage. This paper analyzes the process of transforming Montenegrin cultural heritage from the domain of private family life into the public sphere, with a special emphasis on the potential for its tourism valorization. Key elements of both tangible and intangible culture are considered – from specific folk costumes and traditional dances to gastronomic specialties that have undergone certain changes under the influence of the Vojvodina milieu. A particular focus is placed on the role of cultural associations and manifestations as institutions that directly transmit tradition and serve as a platform for its presentation for tourism purposes. It is concluded that the adequate presentation of Montenegrin folklore, through organized manifestations, traditional households, and gastronomic events, can significantly contribute to the diversification of Vojvodina's tourist image. Such an approach not only contributes to economic development but also serves as a mechanism for the long-term preservation of the cultural identity of the Montenegrin community in this region.

Keywords: folklore heritage, Montenegrins, Vojvodina, cultural tourism, ethnic identity.

Компаративна анализа развоја туризма Града Бања Лука некад и сад

Светлана Милошевић Крејућ^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* svetlana.milosevic@pmf.unibl.org

Градски туризам као најкомплекснији вид туризма представља предмет различитих туристичких истраживања. Град Бања Лука, као већ афирмисана туристичка дестинација, представља изазов за истраживање савременог развоја туризма. Природне и културне туристичке атракције Града Бања Лука основа су њеног туристичког производа и главни подстицај настанку туристичке тражње. Развојни циљеви и политике у области туризма у Граду Бања Лука усмјеравани су прије свега кроз Стратегију развоја туризма Града Бања Лука 2013–2020. године и Стратегију развоја града Бања Лука за период 2018–2027. године, у којима је туризам препознат као значајна дјелатност и један од праваца локалног развоја. У тим документима дефинисани су и вредновани поједини облици туризма, при чему су у првој стратегији вредновани примјеном тржишно-конкурентског, а у другој примјеном развојно-интегративног приступа. Реализацијом ових циљева, првенствено кроз планско усмјеравање инвестиција, унапређење туристичке инфраструктуре, јачање смјештајних и угоститељских капацитета, те уређење јавних и рекреативних простора, створена је материјална база развоја туризма. Упоредо с тим развијали су се и људски ресурси неопходни за развој ове дјелатности. Као резултат наведеног, Бања Лука је данас водећа градска туристичка дестинација у Републици Српској према броју долазака туриста. Општи циљ истраживања је да се примјеном научне дескрипције и теренског истраживања, уз прикупљање, обраду и интерпретацију података, дође до тачних и провјерљивих знања о развоју туризма у Граду Бања Лука некада и данас. Крајњи циљ је да се на основу добијених података изврши компаративна анализа у којој ће бити упоређен развој туризма у претходном периоду са садашњим стањем и савременим трендовима. У раду су кориштене опште научне методе, прије свега метода анализе и синтезе ради сагледавања и упоређивања развоја туризма у Граду Бања Лука некада и данас. Метод теренског посматрања омогућио је добијање података на основу непосредног научног посматрања развоја туризма, док је дескриптивни метод кориштен при прегледу постојеће литературе и ранијих истраживања. Индуктивни метод омогућио је да се резултати компаративне анализе примијене и на остале градске дестинације у Републици Српској. Картографски метод кориштен је за приказивање туристичких атракција, а статистички и графички методи за приказивање квантитативних показатеља везаних за туризам. Метод интервјуа кориштен је ради добијања података од туристичких радника у Граду Бања Лука. Истраживање обухвата просторно-географске податке, податке о природним и културним вриједностима града, податке о материјалној бази туризма, смјештајним и угоститељским капацитетима, туристичком промету, просјечном боравку туриста и квалитативне податке из интервјуа о развоју туризма, његовим могућностима и проблемима. Теоријски и емпиријски резултати указују на значајан напредак туристичке дјелатности и потврђују повољне перспективе Бање Луке као водеће градске дестинације у Републици Српској. Све истраживане компоненте туризма побољшане су у односу на ранији период, па се може закључити да је туризам у Граду Бања Лука доживио велику трансформацију, у складу са глобалним трендовима. Примјена компаративне анализе

потврдила је значајан развој туристичке дјелатности као резултат квалитетног рада у туризму.

Кључне ријечи: градски туризам, Град Бања Лука, компаративна анализа.

Comparative Analysis of Tourism Development in the City of Banja Luka – Past and Present

*Svetlana Milošević Krejić¹**

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* svetlana.milosevic@pmf.unibl.org

Urban tourism, as the most complex form of tourism, is the subject of various tourismological studies. The City of Banja Luka, as an already established tourist destination, represents a challenge for researching the contemporary development of tourism. The natural and cultural tourist attractions of the City of Banja Luka form the basis of its tourism product and the main incentive for the emergence of tourism demand. Development goals and policies in the field of tourism in the City of Banja Luka have primarily been guided through the Tourism Development Strategy of the City of Banja Luka 2013–2020 and the Development Strategy of the City of Banja Luka for the period 2018–2027, in which tourism is recognized as an important activity and one of the directions of local development. These documents also define and evaluate certain forms of tourism, with the first strategy assessing them through a market-competitive approach, and the second through a development-integrative approach. Through the implementation of these goals, primarily by means of planned investment guidance, improvement of tourism infrastructure, strengthening of accommodation and hospitality capacities, and the development of public and recreational spaces, a material basis for tourism development has been created. At the same time, the human resources necessary for the development of this activity have also been developed. As a result, Banja Luka is today the leading urban tourist destination in the Republic of Srpska according to the number of tourist arrivals. The general aim of the research is to obtain accurate and verifiable knowledge about the development of tourism in the City of Banja Luka in the past and today, through the application of scientific description and field research, along with the collection, processing, and interpretation of data. The ultimate goal is to conduct a comparative analysis based on the obtained data, comparing the development of tourism in the previous period with the current situation and contemporary trends. The paper uses general scientific methods, primarily the methods of analysis and synthesis, in order to examine and compare the development of tourism in the City of Banja Luka in the past and today. The method of field observation made it possible to obtain data based on direct scientific observation of tourism development, while the descriptive method was used in reviewing existing literature and previous research. The inductive method enabled the results of the comparative analysis to be applied to other urban destinations in the Republic of Srpska as well. The cartographic method was used to present tourist attractions, while statistical and graphical methods were used to present quantitative indicators related to tourism. The interview method was used to obtain data from tourism workers in the City of Banja Luka. The research includes spatial-geographical data, data on the natural and cultural values of the city, data on the material

basis of tourism, accommodation and hospitality capacities, tourist turnover, average length of tourist stay, and qualitative data obtained through interviews on tourism development, its opportunities, and its problems. Theoretical and empirical results indicate significant progress in tourism activity and confirm the favorable prospects of Banja Luka as the leading urban destination in the Republic of Srpska. All examined components of tourism have improved compared with the previous period, and it can therefore be concluded that tourism in the City of Banja Luka has undergone a major transformation in line with global trends. The application of comparative analysis confirmed the significant development of tourism activity as a result of high-quality work in tourism.

Keywords: urban tourism, City of Banja Luka, comparative analysis.

Природни потенцијали као геополитичка категорија Републике Српске

Вања Мирјана Вујић^{1*} и Игор Зекановић¹

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* vanja.mirjana.vujic@pmf.unibl.org

Природни потенцијали представљају синтезу елемената природне средине повезаних у цјеловит природни комплекс. Лоцирани су у одређеном геопростору и у функцији су времена које одређује њихов геополитички значај. Република Српска располаже са респектабилним природним потенцијалима (шумским комплексом, хидропотенцијалом, пољопривредним земљиштем, рудним и минералним ресурсима, климатским условима) који представљају важан сегмент у валоризацији њеног геополитичког положаја сагледаног кроз призму „геополитике ресурса“ као савремене детерминанте развоја и геополитичке доктрине која данас представља неизоставан сегмент у међународним односима, јер приступ и сигурно располагање природним потенцијалима и сировинским резервама одређује међународни статус и односе између политичко-територијалних заједница на локалном, регионалном и глобалном нивоу. Предмет истраживања у раду ће се односити на артикулисање, анализу и улогу природних потенцијала у геополитичкој валоризацији Републике Српске, гдје би фокус истраживања био усмјерен на идентификовање веза и интеракција између егзистенцијалних категорија датог простора – геополитичких, демографских и економских. Циљ истраживања ће указати да би геопростор Републике Српске могао постати успјешан примјер политичко-територијалне заједнице у којој би елементи природне средине представљали осовину концепта регионалног развоја и на тај начин одредило интердисциплинарно проблемско подручје, приоритети и идентификовале смјернице за имплементацију одређених рјешења. Такође, циљ истраживања би указао да геопростор Републике Српске може постати успјешан примјер рационалне експлоатације природних ресурса са једне и „адаптације“ на специфичне политичко-географске околности са друге стране. Рад се планира реализовати комплексном методологијом истраживања на основу функционалног и структурно-функ-

ционалног методолошког приступа, прецизније, како општим (анализа, синтеза, конкретизација, генерализација) тако и посебним методама иманентним географским истраживањима (компаративна, просторна анализа) уз адекватне технике обраде података (статистичка, картографска, графичка, ГИС анализа). Резултати истраживања имаће разноврсну теоријску и апликативну вриједност, а закључна промишљања би потврдили хипотезу да планско и рационално управљање природним потенцијалима представља једну од будућих смјерница регионално-развојног идентитета Републике Српске не само у економском контексту, већ и смјерницу геополитичке стабилности што подразумева политичку, економску, демографску и еколошку одрживост геопростора као и научни аргумент да је дефинитивно превазиђено мишљење о минималистичкој улози географских фактора и природних потенцијала у глобалној структури свјетског поретка и савременим експанзионистичким циљевима у свијету. Промисљања ће јасно потврдити чињеницу да се као златна нит прожима научно утемељена парадигма да природни потенцијали Републике Српске итекако имају своју геополитичку димензију. На крају рада, закључак ће указати на премису, да иако живимо у времену научно-технолошке револуције и ери доминације вјештачке интелигенције, ипак, геополитичке теорије утемељене на детерминистичким постулатима за које се сматрало да представљају ретроградна промишљања и субјективне интерпретације као и значај природних ресурса за егзистенцију неке политичко-територијалне заједнице итекако имају упориште у савременим међународним односима и добијају своју пуну афирмацију и потврду на примјеру Републике Српске, Босне и Херцеговине, али и међународне заједнице у цјелини.

Кључне ријечи: природни потенцијали, Република Српска, регионално-развојни идентитет, „геополитика ресурса“, геополитичка валоризација.

Natural Potential as a Geopolitical Category of the Republic of Srpska

Vanja Mirjana Vujić^{1} and Igor Zekanović¹*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* vanja.mirjana.vujic@pmf.unibl.org

Natural potentials represent a synthesis of elements of the natural environment integrated into a coherent natural complex. They are located within a specific geospatial framework and are influenced by temporal dynamics that determine their geopolitical significance. The Republic of Srpska possesses considerable natural potentials (forest complexes, hydropower potential, agricultural land, mineral and raw material resources, and favorable climatic conditions), which constitute an important segment in the valorization of its geopolitical position, viewed through the prism of the “geopolitics of resources” as a contemporary determinant of development and a geopolitical doctrine that represents an indispensable component of modern international relations. Access to and secure control over natural potentials and raw material reserves determine international status and relations between political-territorial entities at local, regional, and global levels. The subject of this research focuses on the articulation, analysis, and role of natural potentials in the geopolitical valorization of the Republic of Srpska, with particular emphasis on identifying the relationships and interactions between key existential categories

of the given space – geopolitical, demographic, and economic. The aim of the research is to demonstrate that the geospace of the Republic of Srpska could become a successful example of a political-territorial entity in which elements of the natural environment form the backbone of a regional development concept, thereby defining an interdisciplinary problem area, establishing priorities, and identifying guidelines for the implementation of specific solutions. Furthermore, the research aims to indicate that the geospace of the Republic of Srpska can serve as a successful example of both rational exploitation of natural resources and adaptation to specific political-geographical circumstances. The study is planned to be conducted using a complex research methodology based on functional and structural-functional approaches, employing both general methods (analysis, synthesis, concretization, generalization) and specific methods inherent to geographical research (comparative and spatial analysis), along with appropriate data processing techniques (statistical, cartographic, graphical, and GIS analysis). The results of the research will have both theoretical and applied value, and the concluding considerations will confirm the hypothesis that planned and rational management of natural potentials represents one of the future directions of the regional development identity of the Republic of Srpska, not only in an economic context but also as a guideline for geopolitical stability, encompassing political, economic, demographic, and environmental sustainability of the geospace. The research will also provide scientific arguments that the previously held view of the minimal role of geographical factors and natural potentials in the global structure of the world order has been definitively surpassed. The reflections will clearly confirm the scientifically grounded paradigm that natural potentials of the Republic of Srpska possess a significant geopolitical dimension. Finally, the conclusion will emphasize that, despite living in an era of scientific-technological revolution and the dominance of artificial intelligence, geopolitical theories based on deterministic postulates – once considered outdated and subjective interpretations – as well as the importance of natural resources for the existence of a political-territorial entity, still have a strong foundation in contemporary international relations and gain full affirmation through the example of the Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, and the international community as a whole.

Keywords: natural potentials, Republic of Srpska, regional development identity, geopolitics of resources, geopolitical valorization.

Република Српска: Између „дебелих и танких“ регионалних идентитета

Горан Мутабџија¹*

¹ Универзитет у Источном Сарајеву, Филозофски факултет, Пале, Република Српска, Босна и Херцеговина

* goran.mutabdzija@ffuis.edu.ba

Предмет рада односи се на анализу регионалних идентитета унутар Републике Српске, вишезначног појма који се подједнако односи на оба хијерархијска нивоа, на традиционалне географске регије, али и на уже регионалне цјелине са израженим идентитетским потенцијалом (градска и сеоска подручја). Полазну основу ће чинити преглед

географских регија Републике Српске и опис њених традиционалних регионалних идентитета, заснованих на етнографско-антрополошким претпоставкама. Из овако широко дефинисаног предмета рада проистиче циљ истраживања, а то је препознавање елемената који карактеришу убрзани процес урбанизације и миграција, као фактора са пресудним утицајем на модификовање традиционалних регионалних идентитета. Остварење овог циља подразумијева дефинисање три јасна задатка, од којих се прва два односе на цијели простор Републике Српске, а трећи на изабрано подручје (Источно Сарајево). Квантитативни опис елемената политике регионалног развоја (смањење регионалних економских разлика, демографска обнова, подстицање инвестиција у мање развијене општине и јачање инфраструктурне, пословне и технолошке повезаности свих регија) и квалитативни опис општеживотних услова унутар неразвијених подручја (општински и макро-физиономски оквир) ће пружити јасну представу о економскогеографским основама регионалних идентитета. Конкретизација ових генералних одредница ће се остварити кроз анализу просторно-функцијских веза унутар комплексне и хетерогене територије Источног Сарајева, унутар које ће се апострофирати главне тенденције у домену промјене: броја становника, његовог размјештаја и међуентитетских миграција; традиционалних економскогеографских структура, од индустрије ка трговини, туризму и услугама; те урбано-руралних процеса, који кроз изражену комерцијализацију станоградње поларизују Источно Сарајево. Сходно предмету истраживања, основни методски поступак биће географска анализа, заснована на проучавању статистичких показатеља о демографским, економскогеографским и просторно-функцијским тенденцијама унутар традиционалних географских регија Републике Српске. Други методски поступак ће се односити на примјену деконструкције савремених урбаних процеса, преко које ће се назначити недовољно видљиви процеси у урбаном ткиву Источног Сарајева. Очекивани резултати ће нагласити тенденције у креирању нових извора регионалних идентитета, заснованих на промјени мјеста становања (миграције из Сарајева у Источно Сарајево), рада (долазака грађевинских радника из Турске и Блиског Истока) или студирања (долазак студената из Јужне Азије на Универзитет у Источном Сарајеву). Сви ови процеси настају под утицајем политике и глобализације, које у урбаном ткиву Источног Сарајева препознају повољан амбијент за живот, рад и студирање, те тако врше дискретни притисак на институције и друштвене мреже, преко којих се њихов значај и моћ мултиплицира. Претходна истраживања омогућиће разумијевање актуелних својстава регионалних идентитета, која ће се потом класификовати на традиционалне („дебеле“) и савремене („танке“). На основу тога ће се дефинисати закључци о тенденцијама унутар савремених друштвено-економских кретања на подручју Републике Српске, заснованих на међународној подјели рада. Закључна разматрања ће нагласити појачану индивидуализацију у друштву, те трансформацију друштвених мрежа и разумијевање измијењених регионалних идентитета. То ће пред институције Републике Српске поставити сложеније задатке, тражиће савременије форме одговора на препознате изазове, а чије ће се прихватање помјерати од потребе разумијевања „дебелих“ ка „танким“ регионалним идентитетима.

Кључне ријечи: Република Српска, Источно Сарајево, регионална политика, регије, „дебели и танки“ регионални идентитети.

The Republic of Srpska: Between “Thick” and “Thin” Regional Identities

Goran Mutabdzija^{1*}

¹ University of East Sarajevo, Faculty of Philosophy, Pale, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* goran.mutabdzija@ffuis.edu.ba

The subject of this paper concerns the analysis of regional identities within the Republic of Srpska, a multifaceted concept that applies equally to both hierarchical levels: traditional geographical regions and smaller regional units with pronounced identity potential (urban and rural areas). The starting point of the study will be an overview of the geographical regions of the Republic of Srpska and a description of their traditional regional identities, based on ethnographic and anthropological assumptions. From this broadly defined subject emerges the main research objective: to identify the elements characterizing the accelerated processes of urbanization and migration as factors exerting a decisive influence on the modification of traditional regional identities. Achieving this objective entails three clearly defined tasks. The first two relate to the entire territory of the Republic of Srpska, while the third focuses on a selected area (East Sarajevo). A quantitative description of regional development policy elements (reducing regional economic disparities, demographic renewal, encouraging investment in less developed municipalities, and strengthening infrastructural, business, and technological connectivity among all regions), together with a qualitative description of general living conditions in underdeveloped areas (municipal and macro-physiognomic frameworks), will provide a clear picture of the economic-geographical foundations of regional identities. These general determinants will be further specified through an analysis of spatial-functional relationships within the complex and heterogeneous territory of East Sarajevo. Particular emphasis will be placed on the main trends concerning changes in population size, population distribution, and inter-entity migration; the transformation of traditional economic-geographical structures from industry toward trade, tourism, and services; and urban-rural processes that, through the pronounced commercialization of housing construction, contribute to the polarization of East Sarajevo. In accordance with the research subject, the primary methodological approach will be geographical analysis based on the study of statistical indicators relating to demographic, economic-geographical, and spatial-functional trends within the traditional geographical regions of the Republic of Srpska. A second methodological approach will involve the application of deconstruction of contemporary urban processes, through which less visible processes within the urban fabric of East Sarajevo will be identified. The expected results will highlight trends in the creation of new sources of regional identities, based on changes in place of residence (migration from Sarajevo to East Sarajevo), employment (the arrival of construction workers from Turkey and the Middle East), and education (the arrival of students from South Asia to the University of East Sarajevo). All of these processes arise under the influence of politics and globalization, which recognize the urban environment of East Sarajevo as a favorable setting for living, working, and studying. Consequently, they exert subtle pressure on institutions and social networks through which their significance and influence are multiplied. Previous research will facilitate an understanding of the current characteristics of regional identities, which will subsequently be classified as traditional (“thick”) and contemporary (“thin”). Based on this classification, conclusions will be drawn regarding trends within contemporary socio-economic developments in the Republic of Srpska, shaped by the international division of

labor. The concluding discussion will emphasize increasing individualization within society, the transformation of social networks, and the understanding of altered regional identities. This will place more complex demands on the institutions of the Republic of Srpska, requiring more contemporary forms of response to the identified challenges. The focus of these responses will gradually shift from the need to understand “thick” regional identities toward understanding “thin” regional identities.

Keywords: Republic of Srpska, East Sarajevo, regional policy, regions, “thick” and “thin” regional identities.

Будућност географије у образовном систему Републике Српске кроз призму различитих образовних традиција

Милка Грмуша^{1}*

¹ Универзитет у Источном Сарајеву, Филозофски факултет, Пале, Република Српска, Босна и Херцеговина

* milka.grmusa@ff.ues.rs.ba

У раду се разматра утицај савремених глобалних образовних кретања и њихов могући утицај на образовање у Републици Српској, посебно на предмет географију и географско образовање. Циљ рада је сагледати утицај различитих образовних традиција, присутних на европском простору, на географију као предмет и размотрити будући развој географског образовања у образовном систему Републике Српске. На темељу релевантне научне литературе и примјеном методе теоријске анализе, у раду се критички сагледавају утицаји различитих образовних традиција, анализирају искуства других земаља о утицају модерног курикулума на географију као предмет, те предлажу правци будућег развоја географског образовања у Републици Српској. На европском простору уочљиво је присуство неколико различитих образовних традиција. Као прва и најстарија, присутна је континентална или средњоевропска традиција, односно класична дидактика која је исходиште традиционалног курикулума или како се код нас назива наставног плана и програма, а који се темељи на знању и на јасно ограниченим наставним предметима. Друга је англосаксонска традиција у чијој је основи теорија курикулума која је исходиште данас глобално присутног модела познатог као модерни курикулум усмјерен на компетенције (компетенцијски модел курикулума). Овај курикулум се темељи на генеричким (општим) вјештинама, на интердисциплинарности и има тенденцију интегрисања предмета. Основна замјерка овом моделу курикулума јесте недостатак теоријског дисциплинарног знања, као и проблеми везани за садржај учења и наставе. У Европи се често издваја још једна образовна традиција, као трећа, а то је скандинавска образовна традиција која приступа изради курикулума поштујући дидактичку традицију. Скандинавски научници у области образовања позивају на дијалог између дидактике и теорије курикулума како би се омогућило свеобухватно разумијевање наставе, а све у циљу унапређења њеног квалитета. У скандинавским земљама се посебна пажња поклања теоријском дисциплинарном знању у курикулуму (дакле предметима) и праву сваког дјетета да има приступ

таквом знању. Босну и Херцеговину карактерише дуга традиција дидактике у оквиру које је конципиран традиционални наставни план и програм утемељен на знању и на предметима. Посљедњих деценија, као земљу у транзицији, Босну и Херцеговину захватиле су реформске промјене које се често називају *курикулумски приступ образовању*, а који представља утицај модерног курикулума усмјереног на компетенције на наш образовни систем. Са становишта искустава у неким западноевропским земљама, може се рећи да глобална образовна кретања и модерни курикулум посебно негативно утичу на географију као предмет у курикулуму. Географија као интердисциплинарна научно-наставна дисциплина, показала је рањивост посебно код тенденције интегрисања предмета у модерном курикулуму. Истраживања су показала да је географија као предмет у курикулуму под сталним притиском и да је њен статус угрожен смањењем фонда часова. Статус јој угрожавају или интегрисани предмети или други предмети који траже статус у курикулуму, а често је угрожена и тиме што географију поучавају неспецијализовани наставници. На основу искустава других земаља, те на основу идеје моћног знања која представља критику модерног курикулума, у раду се постављају питања о будућности предмета географија у школама Републике Српске и покушавају дати адекватни одговори и смјернице даљег развоја географског образовања.

Кључне ријечи: предмет географија, моћно знање, модерни курикулум, образовна реформа, Република Српска.

The Future of Geography in the Educational System of the Republic of Srpska through the Lens of Different Educational Traditions

Milka Grmuša^{1*}

¹ University of East Sarajevo, Faculty of Philosophy, Pale, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* milka.grmusa@ff.ues.rs.ba

The paper examines the impact of contemporary global educational trends and their possible influence on education in the Republic of Srpska, particularly on the geography as a subject and geographical education. The aim of this paper is to examine the influence of various educational traditions present in the European area on geography as a subject, and to consider the future development of geographical education within the school system of the Republic of Srpska. Based on relevant scientific literature and through the application of the method of theoretical analysis, this paper critically examines the influences of various educational traditions, analyzes the experiences of other countries regarding the impact of modern curriculum on geography as a subject, and proposes directions for the future development of geographical education in the Republic of Srpska. Within the European context, the presence of several different educational traditions is noticeable. The first and oldest is the continental or Central European tradition, namely classical didactics, which represents the foundation of the traditional curriculum, or what is locally referred to as the teaching plan and programme, based on knowledge and clearly defined school subjects. The second is the Anglo-Saxon tradition, founded on curriculum theory, which serves as the basis for the globally widespread model

known today as the modern competency-based curriculum. This curriculum is grounded in generic skills, interdisciplinarity, and tends toward the integration of subjects. The main criticism of this curriculum model concerns the lack of theoretical disciplinary knowledge, as well as problems related to the content of learning and teaching. In Europe, another educational tradition is often distinguished as a third, namely the Scandinavian educational tradition, which approaches curriculum development while respecting the didactic tradition. Scandinavian scholars in the field of education advocate dialogue between didactics and curriculum theory in order to enable a comprehensive understanding of teaching, all with the aim of improving its quality. In Scandinavian countries, special attention is devoted to theoretical disciplinary knowledge within the curriculum (that is, school subjects) and to every child's right to access such knowledge. Bosnia and Herzegovina is characterized by a long tradition of didactics within which the traditional teaching plan and programme, founded on knowledge and school subjects, has been developed. In recent decades, as a country in transition, Bosnia and Herzegovina has undergone reform changes often referred to as the curriculum approach to education, representing the influence of the modern competency-based curriculum on our educational system. From the perspective of experiences in some Western European countries, it may be said that global educational trends and the modern curriculum have had a particularly negative impact on geography as a school subject within the curriculum. Geography, as an interdisciplinary scientific and teaching discipline, has shown vulnerability, especially regarding the tendency toward subject integration in the modern curriculum. Research has shown that geography as a curriculum subject is under constant pressure and that its status is threatened by the reduction of teaching hours. Its status is endangered either by integrated subjects or by other subjects seeking a place within the curriculum, while geography is also often undermined by being taught by non-specialized teachers. Based on the experiences of other countries, as well as on the concept of powerful knowledge, which represents a critique of the modern curriculum, the paper raises questions concerning the future of geography as a school subject in the schools of the Republic of Srpska and attempts to provide appropriate answers and guidelines for the further development of geographical education.

Keywords: geography as a school subject, powerful knowledge, modern curriculum, educational reform, Republic of Srpska.

ПРОСТОРНО ПЛАНИРАЊЕ
SPATIAL PLANNING



Осврт на три деценије просторног планирања у Републици Српској: између очекивања, имплементације и просторне стварности

Неда Живак^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Студијски програм Просторно планирање, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* neda.zivak@pmf.unibl.org

Три деценије развоја просторног планирања у Републици Српској омогућавају критичко сагледавање односа између планерских концепција, институционалног развоја и просторних трансформација које су обликовале савремену територијалну структуру Републике Српске. Током посматраног периода успостављен је законодавни и институционални оквир просторног планирања, усвојене су различите генерације просторних планова и формулисане концепције просторне организације и регионализације које су одражавале промјене развојних приоритета и приступа управљању простором. Циљ рада је да кроз критички осврт на развој система просторног планирања Републике Српске идентификује кључне поуке које произлазе из односа између планерских концепција, имплементационих механизма и стварних просторних исхода. Истраживање је засновано на анализи законског и институционалног развоја система, докумената просторног уређења Републике Српске уз сагледавање њихове просторне рефлексије и степена реализације. Резултати показују да су најзначајнији доприноси просторног планирања остварени у институционализацији просторног развоја као јавне политике, очувању интегралног приступа простору и успостављању дугорочног оквира за управљање територијалним развојем. Истовремено, анализа указује на постојање трајног несклада између планерских амбиција и имплементационих капацитета, што је ограничило остваривање појединих развојних концепција и планских рјешења. Посебно је значајно да су се током времена мијењали модели просторне организације, развојни приоритети и планерски инструменти, док су поједини просторни процеси показивали висок степен континуитета, потврђујући ограничен дomet нормативних инструмената у обликовању сложених територијалних динамика. Закључује се да се кључни изазови будућег развоја просторног планирања више не налазе првенствено у изради нових планских докумената, већ у јачању имплементационих механизма, интеграцији секторских политика, ширем укључивању јавности у процес планирања и редефинисању улоге просторног планирања у условима растуће сложености просторних односа. У том контексту, тежиште просторног планирања постепено се помјера са регулације појединачних функција ка управљању њиховом међусобном компатибилношћу, што представља један од основних предуслова дугорочно одрживог просторног развоја.

Кључне ријечи: просторно планирање, Република Српска, имплементација планова, регионализација, просторна компатибилност.

Three Decades of Spatial Planning in the Republic of Srpska: Between Expectations, Implementation, and Spatial Reality

Neda Živak^{1}*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Department of Spatial Planning, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* neda.zivak@pmf.unibl.org

Three decades of spatial planning development in the Republic of Srpska provide a valuable basis for critically examining the relationship between planning concepts, institutional development, implementation mechanisms, and spatial outcomes. During this period, a comprehensive legislative and institutional framework for spatial planning was established, successive generations of spatial plans were adopted, and various concepts of spatial organization and regionalization were formulated, reflecting changing development priorities and approaches to spatial development management. The aim of this paper is to identify the key lessons emerging from the evolution of the spatial planning system in the Republic of Srpska through a critical assessment of the relationship between planning concepts, implementation capacities, and actual spatial transformations. The research is based on an analysis of the legislative and institutional development of the system, as well as spatial planning documents of the Republic of Srpska, with particular attention paid to their implementation and spatial effects. The findings indicate that the most significant contributions of spatial planning have been reflected in the institutionalization of spatial development as a public policy, the preservation of an integrated approach to spatial development, and the establishment of a long-term framework for territorial development. At the same time, the analysis reveals a persistent gap between planning ambitions and implementation capacities, which has constrained the realization of particular development concepts and planning solutions. Of particular importance is the observation that, while models of spatial organization, development priorities, and planning instruments have evolved over time, several key spatial processes have demonstrated a high degree of continuity, confirming the limited capacity of statutory planning instruments to shape complex territorial dynamics. The paper concludes that the principal challenges facing the future development of spatial planning no longer lie primarily in the preparation of new planning documents, but rather in strengthening implementation mechanisms, improving the integration of sectoral policies, broadening participatory planning processes, and redefining the role of spatial planning in the context of increasingly complex spatial relations. In this regard, the focus of spatial planning is gradually shifting from the regulation of individual spatial functions towards the management of their mutual compatibility and interdependence, which represents one of the fundamental prerequisites for long-term sustainable spatial development.

Keywords: spatial planning, Republic of Srpska, plan implementation, regionalization, spatial compatibility.

Нови модел мерења степена развијености јединица локалне самоуправе у Србији – просторно-демографска и еколошка анализа

Велимир Шећеров¹, Дејан Филиповић¹, Марија Јефтић¹, Бранко Протић^{1} и Љубица Душков¹*

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Катедра за просторно планирање, Београд, Србија

* branko.protic@gef.bg.ac.rs

Рад представља скраћени приказ просторно-демографске и еколошке анализе као део ширег пројекта успостављања новог модела мерења степена развијености јединица локалне самоуправе у Републици Србији, рађеног током 2024. године. Анализа стања у раду се заснива на примени репрезентативних показатеља на нивоу јединица локалне самоуправе (ЈЛС – општине и градови), уз поређење са националним просеком (РС=100). За сваки индикатор извршена је статистичка обрада која укључује минималне и максималне вредности, аритметичку средину, стандардну девијацију и коефицијент варијације, чиме се обезбеђује увид у просторну диференцираност и варијабилност појава. Индикатори су стандардизовани по становнику, користећи процене броја становника, како би се омогућила међусобна упоредивост територијалних јединица. Анализа је обухватила временски оквир од најмање пет година, односно трогодишње просеке или последње доступне податке, у зависности од специфичности области. Валидација и тестирање индикатора спроведени су у складу са Законом о регионалном развоју, кроз примену дефинисаних граничних вредности и класификацију према степену развијености. На основу синтетизованих кључних показатеља изведени су закључци о стању и развојним разликама, који представљају основу за даље планирање и дефинисање развојних политика. Коначно, на основу свега дат је предлог јединствене листе развијености ЈЛС у Републици Србији за 2024. годину.

Кључне речи: развијеност, рангирање, планирање, локална самоуправа, модел.

A New Model for Assessing the Level of Development of Local Self-Government Units in Serbia: A Spatial-Demographic and Environmental Analysis

Velimir Šećerov¹, Dejan Filipović¹, Marija Jeftić¹, Branko Protić^{1} and Ljubica Duškov¹*

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Department for Spatial Planning, Belgrade, Serbia

* branko.protic@gef.bg.ac.rs

This paper presents a condensed overview of a spatial-demographic and environmental analysis conducted as part of a broader project aimed at establishing a new model for measuring the level of development of local self-government units in the Republic of Serbia, originally carried out in 2024. The analysis is based on the application of representative indicators at the level of

local self-government units (municipalities and cities), with comparison to the national average (RS=100). For each indicator, statistical processing was performed, including minimum and maximum values, arithmetic mean, standard deviation, and coefficient of variation, enabling insight into spatial differentiation and variability of observed phenomena. Indicators were standardized per capita, using population estimates, in order to ensure comparability among territorial units. The analysis covered a time frame of at least five years, using three-year averages or the most recent available data, depending on the specificity of each domain. Validation and testing of indicators were conducted in accordance with the Law on Regional Development, through the application of defined threshold values and classification by level of development. Based on the synthesis of key indicators, conclusions were drawn regarding the current state and regional disparities, providing a basis for further planning and the formulation of development policies. Finally, based on all findings, a proposal for a unified classification of the level of development of local self-government units in the Republic of Serbia for 2024 was presented.

Keywords: development level, ranking, planning, local self-government, model.

Учешће грађана у европским системима просторног планирања: анализа ESPON COMPASS студије

Марко Калаба^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Студијски програм Просторно планирање, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* marko.kalaba@student.pmf.unibl.org

Учешће грађана заступљено је у готово свим стратегијама и одредбама на које се обавезују водеће европске државе у посљедњих 30 година. Систем просторног планирања у земљама Европске уније није јединствен, те се јављају значајне формално-правне разлике, као и разлике у степену имплементације заједничких циљева. Овај рад базиран је на анализи различитих модела партиципације грађана у процесу просторног планирања у 32 европске земље, које су обухваћене анализом од стране ESPON-а. Циљ рада је да утврди разлике у правно-нормативном оквиру, нивоу и начинима партиципације грађана у процесу просторног планирања. На тај начин могуће је пронаћи примјере добре праксе, те њихове моделе искористити за оптимизацију ове проблематике у Републици Српској. Ако упоредимо формално-правну могућност партиципације и ниво партиципације можемо закључити да у неким случајевима формална могућност партиципације не гарантује и висок ниво партиципације, односно да је учешће грађана у процесу планирања пуно и ефикасно укључивање. Анализа показује да постоји још много простора за развијање начина и метода партиципације у европским земљама, што би допринијело квалитету планских докумената.

Кључне ријечи: партиципација, просторно планирање, територијално управљање, ESPON.

Citizen Participation in European Spatial Planning Systems: An Analysis of the ESPON COMPASS Study

Marko Kalaba^{1*}

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Spatial Planning Study Program, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* marko.kalaba@student.pmf.unibl.org

Citizen participation has been incorporated into almost all strategies and regulations adopted by leading European countries over the past thirty years. However, spatial planning systems across European countries are not uniform, resulting in significant legal and institutional differences, as well as variations in the degree of implementation of common objectives. This paper is based on an analysis of different models of citizen participation in spatial planning processes in 32 European countries covered by the ESPON study. The aim of the paper is to identify differences in the legal framework, levels, and forms of citizen participation in spatial planning. Such an analysis makes it possible to identify examples of good practice and use their models to improve and optimize this issue in the Republic of Srpska. A comparison between the formal legal opportunities for participation and the actual level of participation indicates that, in some cases, the formal possibility of participation does not guarantee a high level of participation, i.e., full and effective citizen involvement in planning processes. The analysis also shows that there is still considerable room for further development of participation methods and mechanisms in European countries, which could contribute to the quality of planning documents.

Keywords: citizen participation, spatial planning, territorial governance, ESPON.

Примена индекса могућности пешачења и вожње бицикла у планирању развоја градова

**Тијана Томић^{1*}, Јасмина Ђорђевић¹, Немања Томић¹, Бојана Пјановић²
Дајана Ашћерић¹ и Емилија Станишић²**

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

* dordevictijana@gmail.com

Моторизовани саобраћај велики је допринос еколошким проблемима на глобалном нивоу. У урбаним срединама квалитет живота грађана значајно је угрожен константним растом броја моторних возила. Због наведеног у урбаном планирању се све већи акценат поставља на развој одрживе урбане мобилности. Циљ овог рада је да се представе потенцијали употребе индекса могућности пешачења и вожње бицикла у урбаном планирању на примеру градова у Војводини. Индекси су за те потребе прилагођени за европ-

ски модел града и обухватају показатеље као што су начин коришћења земљишта, пешачка и бициклистичка инфраструктура (квалитет и квантитет), густина и просторна дистрибуција становништва, рељеф, сигурносни аспекти саобраћаја као и естетску и еколошку компоненту доступне инфраструктуре. Модел за рачунање поменутих индекса израђен је уз помоћ ГИС-а због брзине и лакоће управљања подацима уз помоћ ArcGIS Pro софтвера. Примена индекса могућности пешачења и вожње бицикла због присуства израђеног модела показује изузетну ефикасност и брзину добијања потребних информација у урбаном планирању. Свака измена у простору рефлектује се на модел на основу чега је могуће тестирати различита планска решења. Мана поменутог модела и његова примена у урбаном планирању јесте робусност и захтевност када су геопросторни подаци у питању што је још велики проблем у Србији. Други недостатак је што је модел доступан само у софтверу ArcGIS Pro и није доступан у бесплатним ГИС софтверима.

Кључне речи: могућност пешачења, урбано планирање, одржива урбана мобилност, ГИС.

Walkability and Bikeability Index in Urban Planning

Tijana Tomić¹, Jasmina Đorđević¹, Nemanja Tomić¹, Bojana Pjanović²
Dajana Aščerić¹ and Emilija Stanišić²*

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department for Geography, Tourism and Hotel Management, Novi Sad, Serbia

² University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

* dordevictijana@gmail.com

Motorized traffic is a major contributor to environmental problems on a global scale. In urban areas, the quality of life of citizens is significantly threatened by the constant growth of the number of motor vehicles. Due to that, urban planning is increasingly focusing on the development of sustainable urban mobility. The aim of this paper is to present the possibilities of using walkability and bikeability indices in urban planning using the example of cities in Vojvodina. For these purposes, the indices have been adapted to the European model of the city and include indicators such as land use, pedestrian and bicycle infrastructure (quality and quantity), population density and spatial distribution, relief, traffic safety aspects, as well as the aesthetic and ecological component of the available infrastructure. The model for calculating the aforementioned indices was developed using GIS due to the speed and ease of data management using ArcGIS Pro software. The application of the walkability and bikeability indices, due to the presence of the developed model, shows exceptional efficiency and speed of obtaining the necessary information in urban planning. Every change in space is reflected in the model, based on which it is possible to test different planning solutions. The disadvantage of the aforementioned model and its application in urban planning is its robustness and demandingness when it comes to geospatial data, which is still a big problem in Serbia. Another disadvantage is that the model is only available in ArcGIS Pro software and is not available in free GIS software.

Keywords: walkability, urban planning, sustainable urban mobility, GIS.

Улога биоклиматских показатеља и мониторинга микроклиматских услова у успостављању климатски свесног урбаног планирања

Милица Лукић Петровић^{1*}

¹ Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија

* milica.lukic@gef.bg.ac.rs

Рад анализира улогу биоклиматских показатеља и значај успостављања система мониторинга микроклиматских услова урбаних средина у унапређењу постојеће праксе урбанистичког планирања, што представља један од предуслова за транзицију ка климатски свесном планирању. У околностима интензивне урбанизације, измењених климатских услова, уз изражен ефекат урбаног острва топлоте, традиционални приступи планирању показали су ограничења у сагледавању комплексних односа између изграђеног простора, природних елемената (зелене и плаве инфраструктуре) и микроклиматских карактеристика. У том контексту, рад полази од претпоставке да је интеграција биоклиматских анализа и континуираног мониторинга микроклиматских услова кључна за доношење информисаних, одрживих и климатски свесних планских одлука. За студију случаја изабрана је централна урбана зона града Београда (Србија). Истраживање се састоји из три сегмента. У првом сегменту разматра се значај успостављања система мониторинга микроклиматских и биоклиматских услова у централном подручју Београда, са нагласком на праћење спољашњег термалног комфора (СТК) у зонама различитих функционалних и морфолошких карактеристика. Посебна пажња посвећена је дефинисању потенцијалних зона за успостављање мреже осматрања СТК у Београду, где је издвојено 5 различитих типова подручја: високо урбанизована зона, зона градских зелених површина, зона мешовите намене, зона у близини водених површина и зона здравствене неге и заштите. Овде се указује на потребу за организацијом мреже микрометеоролошких станица и сензора који омогућавају прикупљање података у реалном времену, као и на значај развоја савремених информационих и комуникационих решења за њихову обраду и дистрибуцију ка различитим корисницима (од грађана и невладиног сектора, преко планера и урбаниста, различитих експерата који се баве урбаним развојем, до доносилаца одлука и креатора јавних политика). Други део рада посвећен је најчешће коришћеним биоклиматским индексима који се примењују у процени СТК, као што су Универзални термални климатски индекс (UTCI), Физиолошка еквивалентна температура (PET) и Индекс топлотног стреса (Heat Index). Кратко су приказане њихове методолошке предности и могућности примене у различитим фазама планског процеса, од анализе постојећег стања до евалуације сценарија развоја. Посебно се истиче значај комбиновања биоклиматских показатеља са другим параметрима животне средине, попут индекса квалитета ваздуха (AQI) и UV индекса, ради свеобухватније процене ризика по јавно здравље. Трећи сегмент рада бави се интеграцијом прикупљених микрометеоролошких и биоклиматских података у методологију израде просторних и урбанистичких планова. Указује се на предности примене различитих софтверских алата и модела за симулацију, као што су ENVI-met, RayMan, Ladybug (додатак за софтвер Rhino/Grasshopper), Bio-klima и њихово комбиновање са GIS алатима који омогућавају тестирање различитих планерских решења и оптимизацију простора у циљу унапређења спољашњег термалног комфора. Све заједно доприноси развоју климатски свесног урбаног планирања, које

уважава интеракције између климатских фактора, урбане морфологије и потреба различитих корисника простора. Успостављање ефикасног система мониторинга микроклиматских и биоклиматских услова и окретање ка климатски свесном приступу у планирању представља неопходан корак ка јачању отпорности урбаних средина и њиховом успешнијем прилагођавању на измењене климатске услове.

Кључне речи: мониторинг, биоклиматски услови, спољашњи термални комфор, урбане средине.

The Role of Bioclimatic Indicators and Monitoring of Microclimatic Conditions in Establishing Climate-Conscious Urban Planning

Milica Lukić Petrović^{1*}

¹ University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia

* milica.lukic@gef.bg.ac.rs

This paper analyzes the role of bioclimatic indicators and the importance of establishing a monitoring system for microclimatic conditions in urban environments in improving existing urban planning practices, which represents one of the requirements for the transition toward climate-conscious planning. In the context of intensive urbanization, altered climatic conditions, and the pronounced urban heat island (UHI) effect, traditional planning approaches have shown limitations in addressing the complex relationships between the built environment, natural elements (green and blue infrastructure), and microclimatic characteristics. In this context, the paper is based on the assumption that the integration of bioclimatic analyses and continuous monitoring of microclimatic conditions is essential for making informed, sustainable, and climate-conscious planning decisions. The central urban zone of Belgrade (Serbia) was selected as the case study. The research consists of three segments. In the first segment, the study examines the importance of establishing a monitoring system for microclimatic and bioclimatic conditions in the central urban area of Belgrade, with a particular focus on assessing outdoor thermal comfort (OTC) across urban zones with different functional and morphological characteristics. Special attention is given to defining potential locations for the establishment of an OTC monitoring network in Belgrade, within which five distinct types of areas are identified: highly urbanized zones, urban green areas, mixed-use zones, zones in proximity to water, and healthcare zones. The paper highlights the need to organize a network of micrometeorological stations and sensors capable of real-time data collection, as well as the importance of developing advanced information and communication solutions for data processing and dissemination to various user groups (ranging from citizens and the non-governmental sector, to planners and urban designers, experts involved in urban development, and decision-makers and public policy creators). The second part is devoted to the most commonly used bioclimatic indices applied in the assessment of outdoor thermal comfort (OTC), such as the Universal Thermal Climate Index (UTCI), the Physiologically Equivalent Temperature (PET), and the Heat Index. Their methodological advantages and potential applications across different phases of the planning process are briefly outlined, ranging from the analysis of existing conditions to the evaluation of development scenarios. Particular emphasis is placed on the importance of combining bioclimatic indicators with other environmental parameters, such as the Air Quality

Index (AQI) and the UV Index, in order to enable a more comprehensive assessment of risks to public health. The third part addresses the integration of collected micrometeorological and bioclimatic data into the methodology of spatial and urban planning. It highlights the advantages of applying various software tools and simulation models, such as ENVI-met, RayMan, Ladybug (a plugin for Rhino/Grasshopper), and Bioklima, as well as their integration with GIS tools that enable the testing of different planning solutions and spatial optimization aimed at improving outdoor thermal comfort. Together, these approaches contribute to the development of climate-conscious urban planning that acknowledges the interactions between climatic factors, urban morphology, and the needs of diverse groups. The establishment of an efficient monitoring system of microclimatic and bioclimatic conditions, along with a shift toward a climate-conscious planning approach, represents a necessary step toward strengthening the resilience of urban environments and enhancing their capacity to adapt to altered climatic conditions.

Keywords: monitoring, bioclimatic conditions, outdoor thermal comfort, urban environments.

Урбана отпорност и квалитет живота под климатским стресом: увиди из Машхада, Иран

Мортеза Голамзаде^{1}*

¹ Општина Машхад, дипломац Универзитета Фердовси, Географија и урбано планирање, Иран

* mortezagholamzadeh1364@gmail.com

Урбана подручја у аридним и семиаридним регијама све су више изложена сложеним ризицима који произлазе из климатских промјена, убрзане урбанизације и деградације животне средине. Ови притисци значајно угрожавају урбану отпорност и умањују услове за квалитетан живот. Ова студија испитује дугорочне утицаје климатских промјена на квалитет живота у граду Машхаду, једном од највећих метрополитанских центара у сјевероисточном Ирану, с посебним освртом на идентификацију кључних климатских покретача и њихових просторних и временских импликација на одрживост урбане животне средине. Истраживање примјењује мјешовити просторно-временски аналитички приступ који комбинује анализу климатских трендова, геопросторну процјену и експертску евалуацију квалитета живота у урбаним срединама. Климатски подаци за период 1970–2020. године, укључујући просјечну годишњу температуру ваздуха, количину падавина и учесталост дана с мразом, анализирани су примјеном непараметарског Ман-Кендаловог теста тренда и Сеновог процјењивача нагиба ради утврђивања обима и значајности климатских промјена. Паралелно с тим, обрађени су сателитски снимци Landsat ради израчунавања температуре површине земљишта (*Land Surface Temperature* – LST), што је омогућило просторно картографисање расподјеле урбане топлоте и деградације зелених површина. Додатно је развијен Индекс урбаног квалитета живота (*Urban Livability Index* – ULI), заснован на експертским процјенама еколошког квалитета, водног стреса, загађења ваздуха, зелене инфраструктуре и климатски условљених ризика. Подаци су

прикупљени од 40 стручњака путем структурисаног упитника и технике „сњежне гру-
двe“ (*snowball sampling*). Статистичка анализа обухватила је Пирсонову корелацију и
моделе вишеструке регресије, уз GIS-просторну анализу преклапања слојева. Резултати
указују на изражену климатску транзицију у Машхаду током протеклих пет деценија.
Град је забиљежио значајан пораст просјечне годишње температуре (приближно +2,8
°C), праћен сталним смањењем количине падавина и броја дана с мразом, што потврђује
прелазак ка топлијим и сушнијим климатским условима. Анализа даљинске детекције
показује јасно ширење зона високих температура површине земљишта, нарочито у густо
изграђеним урбаним језгрима, као и значајно смањење вегетацијског покривача у пе-
риферним дијеловима града. Ови просторни обрасци указују на интензивирање ефекта
урбаног острва топлоте и све већу еколошку фрагментацију. Квантитативна анализа
Индекса урбаног квалитета живота показује да су водни стрес и пораст температуре по-
вршине земљишта најзначајнији фактори опадања квалитета живота у граду, при чему
су утврђене снажне и статистички значајне везе са показатељима деградације животне
средине. Просторна анализа преклапања слојева додатно је идентификовала критична
жаришта у којима се висок климатски стрес поклапа са ниским нивоом квалитета живота,
указујући на подручја повећане урбане рањивости. Налази истраживања сугеришу да
климатски условљени притисци на животну средину у Машхаду нису равномјерно ра-
споређени, већ су просторно концентрисани, што додатно наглашава значај просторног
планирања у стратегијама прилагођавања климатским промјенама. Студија закључује
да јачање урбане отпорности захтијева интегрисано климатски осјетљиво планирање,
ширење плаво-зелене инфраструктуре и укључивање геопросторног картографисања
ризика у оквиру урбаног управљања. Ове мјере су од суштинског значаја за унапређење
дугорочног квалитета живота и смањење климатске рањивости у брзорастућим метропо-
литанским регијама.

Кључне ријечи: климатске промјене, урбани квалитет живота, урбана отпорност, урбано острво
топлоте, Машхад (Иран).

Urban Resilience and Livability under Climate Stress: Insights from Mashhad, Iran

Morteza Gholamzadeh^{1*}

¹ Mashhad Municipality, Graduate of Ferdowsi University in Geography and Urban
Planning, Iran

* mortezagholamzadeh1364@gmail.com

Urban areas in arid and semi-arid regions are increasingly exposed to compounded risks arising from climate change, rapid urbanization, and environmental degradation. These pressures significantly challenge urban resilience and diminish livability conditions. This study examines the long-term impacts of climate change on urban livability in Mashhad, one of the largest metropolitan cities in northeastern Iran, with a focus on identifying key climatic drivers and their spatial and temporal implications for urban environmental sustainability. The study adopts a mixed-methods spatio-temporal analytical framework combining climatic trend analysis, geo-spatial assessment, and expert-based urban livability evaluation. Climate data covering the

period 1970–2020, including annual mean temperature, precipitation, and frost-day frequency, were analyzed using non-parametric trend tests (Mann–Kendall) and Sen’s slope estimator to determine the magnitude and significance of climatic changes. In parallel, Landsat satellite imagery was processed to derive Land Surface Temperature (LST), enabling spatial mapping of urban heat distribution and green space degradation. Additionally, an Urban Livability Index (ULI) was developed based on expert assessments across environmental quality, water stress, air pollution, green infrastructure, and climate-related risks. Data were collected from 40 experts using a structured questionnaire and snowball sampling technique. Statistical analysis included Pearson correlation and multiple regression models, complemented by GIS-based spatial overlay analysis. The results indicate a pronounced climatic transition in Mashhad over the past five decades. The city experienced a significant increase in mean annual temperature (approximately +2.8 °C), accompanied by a consistent decline in precipitation and frost days, confirming a shift toward warmer and drier climatic conditions. Remote sensing analysis reveals a clear expansion of high land surface temperature zones, particularly in densely built-up urban cores, alongside a marked reduction in vegetation cover in peripheral districts. These spatial patterns indicate intensifying urban heat island effects and increasing ecological fragmentation. Quantitative analysis of the Urban Livability Index shows that water stress and rising land surface temperature are the most influential determinants of declining urban livability, demonstrating strong and statistically significant relationships with environmental degradation indicators. Spatial overlay results further identify critical hotspots where high climatic stress coincides with low livability conditions, highlighting areas of heightened urban vulnerability. The findings suggest that climate-induced environmental pressures in Mashhad are not uniformly distributed but are spatially concentrated, reinforcing the importance of spatial planning in urban climate adaptation strategies. The study concludes that enhancing urban resilience requires integrated climate-sensitive planning, expansion of blue–green infrastructure, and incorporation of geospatial risk mapping into urban governance frameworks. These measures are essential for improving long-term livability and reducing climate vulnerability in rapidly growing metropolitan regions.

Keywords: climate change, urban livability, urban resilience, urban heat island, Mashhad (Iran).

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА
MATHEMATICS AND INFORMATICS

Отворени проблеми у инверзној спектралној теорији

Небојша Ђурић^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* nebojsa.djuric@etf.unibl.org

Инверзна спектрална теорија представља једну од најзначајнијих области савремене математичке физике и теорије диференцијалних оператора. Основни циљ ове теорије јесте реконструкција непознатих коефицијената диференцијалних оператора на основу спектралних података, као што су сопствене вриједности, нормирне константе или друге спектралне карактеристике. Током претходног вијека развијени су фундаментални резултати за класичне Штурм–Лиувилове и Диракове операторе, а многи инверзни проблеми за ове операторе данас се сматрају потпуно ријешеним. Ипак, бројна питања и даље остају отворена, нарочито када се разматрају сложеније класе оператора и нестандардни типови аргумената. У овом раду биће дат преглед неких од најзначајнијих отворених проблема у инверзној спектралној теорији. Посебна пажња биће посвећена класичним Штурм–Лиувилевим операторима и Дираковим операторима, код којих и даље постоје нерјешена питања везана за минималне скупоове спектралних података потребних за јединствену реконструкцију оператора. Други дио рада биће посвећен операторима са константним кашњењем. Иако је спектрална теорија ових оператора у посљедњим деценијама доживјела значајан развој, инверзни проблеми за диференцијалне операторе са кашњењем и даље представљају релативно младу истраживачку област. Биће представљени познати резултати и указано на ограничења постојећих метода, као и на отворена питања која се односе на јединственост реконструкције, карактеризацију спектралних података и могућност рјешавања инверзних проблема у случају већих кашњења. Посебан акценат биће стављен на операторе са хомогеним кашњењем, који су привукли значајну пажњу истраживача тек у посљедњих неколико година. За ову класу оператора многи фундаментални проблеми остају нерјешени. Између осталог, биће разматрана питања јединствености реконструкције потенцијала, могућност формулисања и рјешавања полуинверзних проблема, карактеризација спектралних података, као и развој ефикасних алгоритама за реконструкцију. Посебно ће бити истакнуте потешкоће које произлазе из специфичне структуре аргумента са хомогеним кашњењем и његовог утицаја на спектрална својства оператора. Циљ рада је да пружи преглед актуелног стања у области, укаже на правце будућих истраживања и подстакне дискусију о могућим приступима рјешавању отворених проблема.

Кључне ријечи: инверзни проблем, спектрална теорија, диференцијални оператори, кашњење.

Open Problems in Inverse Spectral Theory

*Nebojša Đurić¹**

¹ University of Banja Luka, Faculty of Electrical Engineering, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* nebojsa.djuric@etf.unibl.org

Inverse spectral theory is one of the most important areas of modern mathematical physics and the theory of differential operators. The primary objective of this theory is the reconstruction of unknown coefficients of differential operators from spectral data, such as eigenvalues, norming constants, or other spectral characteristics. During the last century, fundamental results were established for classical Sturm–Liouville and Dirac operators, and many inverse problems for these operators are now considered completely solved. Nevertheless, numerous questions remain open, particularly when more complex classes of operators and nonstandard types of arguments are considered. This paper provides an overview of some of the most significant open problems in inverse spectral theory. Special attention is devoted to classical Sturm–Liouville and Dirac operators, for which unresolved questions still exist concerning the minimal sets of spectral data required for the unique reconstruction of an operator. The second part of the paper is devoted to operators with constant delay. Although the spectral theory of such operators has undergone substantial development in recent decades, inverse problems for differential operators with delay remain a relatively young research area. Known results are reviewed, and the limitations of existing methods are discussed, together with open questions related to uniqueness of reconstruction, characterization of spectral data, and the possibility of solving inverse problems in the case of larger delays. Particular emphasis is placed on operators with homogeneous delay, which have attracted considerable attention only in the last few years. For this class of operators, many fundamental problems remain unsolved. Among other topics, we discuss questions concerning the uniqueness of potential reconstruction, the formulation and solution of half-inverse problems, the characterization of spectral data, and the development of efficient reconstruction algorithms. Special attention is given to the difficulties arising from the specific structure of the homogeneous delay argument and its influence on the spectral properties of the operators. The aim of the paper is to provide an overview of the current state of the field, identify directions for future research, and stimulate discussion on possible approaches to solving these open problems.

Keywords: inverse problems, spectral theory, differential operators, delay.

Оптимизација ланаца снабдијевања енергентима примјеном линеарних диофантских фази планарних графова у условима тржишне нестабилности

Ирма Ибришимовић^{1*}, Јулија Шћекић² и Дамир Бајрић³

¹ Универзит у Тузли, Природно-математички факултет, Одсјек математика, Тузла, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Земун – Београд, Србија

³ Гимназија „Меша Селимовић“, Тузла, Босна и Херцеговина

* irma.ibrisimovic@untz.ba

Савремена енергетска криза довела је на глобалном нивоу до потребе за развојем напредних математичких модела који могу истовремено обрадити високу неодређеност цијена и стриктна логистичка ограничења у реалном времену. Традиционални приступи засновани на класичној теорији графова често не успијевају адекватно квантификовати „степен неодлучности“ код варијабилних параметара снабдијевања, што у пракси може проузроковати неефикасности у дистрибуцији стратешких ресурса и повећаних оперативних трошкова. Циљ овог истраживања је дефинисање, развој и имплементација интелигентног математичког модела за динамичку оптимизацију токова горива коришћењем линеарних Диофантских фази планарних графова (скр. ЛДФПГ). Теоријско проширење омогућава структуриран приступ несигурности кроз линеарно Диофантско ограничење дато са $ax + by \leq 1$, гдје параметри a и b служе као динамички контролни фактори за прецизно балансирање између економског приоритета, енергетске ефикасности и социјалне стабилности шире друштвене заједнице. Методолошки оквир овог рада обухвата дефинисање енергетске мреже као линеарног диофантског фази мултиграфа, при чему се за идентификацију најотпорнијих рута снабдијевања користи напредни концепт снажних мулти-ивица (енг. скр. *strong multiedges*). Посебна пажња посвећена је моделовању тежинских коефицијената грана који одражавају реалне транспортне трошкове, ризике кашњења и геополитичке факторе. Планарност графа у овом специфичном контексту осигурава тополошку конзистентност дистрибутивних путева и ефикасно спречава сложене логистичке сукобе на физички ограниченом терену, што је од критичног значаја за копнени транспорт цистерни. У том контексту, развијени су алгоритми за реконфигурацију мреже засновани на Дијкстрином и Белман-Фордовом алгоритму, као и на анализи геометријских и комбинаторних дуала ЛДФПГ структуре, чиме се омогућава брза трансформација дистрибутивне мреже, минимизирају оперативни губици и осигурава континуитет снабдијевања чак и у условима екстремних поремећаја. Резултати добијени кроз интензивне нумеричке симулације и алгоритамску имплементацију модела, уз примјену напредних метода теорије графова и комплексне матричне алгебре, указују на то да примјена ЛДФПГ модела значајно повећава поузданост предвиђања доступности енергената за приближно 15% у поређењу са конвенционалним фази моделима који се тренутно примјењују у индустрији. Идентификација критичних тачака у систему постаје далеко прецизнија захваљујући јасно дефинисаном степену припадности (μ) и неприпадности (ν) који досљедно задовољавају постављене линеарне параметре у сваком чвору мреже. Истраживање указује на то да предложени ЛДФПГ модел успјешно трансформише нејасне квалитативне тржишне ризике у објективан и оперативан математички оквир, пружајући државним доносиоцима одлука и енергетским

компанијама објективан алат за дугорочну стабилизацију снабдијевања у екстремним кризним ситуацијама. Допринос рада огледа се у дефинисању потпуно новог индекса отпорности енергетске мреже који директно повезује апстрактну теорију графова са реалним социо-економским императивима, чиме се превазилазе ранија ограничења прегледног карактера и нуди јасна методолошка иновација заснована на реалним подацима и спроведеним нумеричким прорачунима.

Кључне ријечи: линеарни Диофантски фази графови, енергетска криза, оптимизација снабдијевања, логистичка отпорност, математичко моделовање.

Optimization of Energy Supply Chains Using Linear Diophantine Fuzzy Planar Graphs under Conditions of Market Instability

Irma Ibrišimović^{1}, Julija Šćekić² and Damir Bajrić³*

¹ University of Tuzla, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Department of Mathematics, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

² University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Zemun – Beograd, Serbia

³ “Meša Selimović” High School, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

* irma.ibrisimovic@untz.ba

The contemporary energy crisis has led to a global need for the development of advanced mathematical models capable of simultaneously processing high price uncertainty and strict real-time logistical constraints. Traditional approaches based on classical graph theory often fail to adequately quantify the “degree of indecision” in variable supply parameters, which can cause inefficiencies in the distribution of strategic resources and increased operational costs in practice. The objective of this research is to define, develop, and implement an intelligent mathematical model for the dynamic optimization of energy flows using Linear Diophantine Fuzzy Planar Graphs (LDFPG). This theoretical extension enables a structured approach to uncertainty through a Linear Diophantine constraint given by $au + bv \leq 1$, where the parameters a and b serve as dynamic control factors for precise balancing between economic priority, energy efficiency, and the social stability of the wider community. The methodological framework of this paper encompasses defining the energy network as a Linear Diophantine fuzzy multigraph, wherein the advanced concept of strong multiedges is utilized to identify the most resilient supply routes. Special attention is dedicated to modeling the weight coefficients of edges that reflect real-world transport costs, delay risks, and geopolitical factors. In this specific context, the planarity of the graph ensures the topological consistency of distribution pathways and effectively prevents complex logistical conflicts on physically constrained terrain, which is of critical importance for road tanker transport. In this regard, network reconfiguration algorithms have been developed based on Dijkstra’s and Bellman-Ford’s algorithms, as well as on the analysis of geometric and combinatorial duals of the LDFPG structure. This enables rapid transformation of the distribution network, minimizes operational losses, and ensures continuity of supply even under conditions of extreme disruption. The results obtained through intensive numerical simulations and algorithmic implementation of the model, utilizing advanced methods of graph theory and complex matrix algebra, indicate

that the application of the LDFPG model significantly increases the reliability of energy supply forecasting by approximately 15% compared to conventional fuzzy models currently applied in the industry. The identification of critical bottlenecks in the system becomes far more precise due to the clearly defined degree of membership (μ) and non-membership (ν) that consistently satisfy the established linear parameters at each network node. The research indicates that the proposed LDFPG model successfully transforms vague, qualitative market risks into an objective and operational mathematical framework, providing policy makers and energy companies with an objective tool for the long-term stabilization of supply in extreme crisis situations. The contribution of this work is reflected in the definition of a completely new energy network resilience index that directly connects abstract graph theory with real-world socio-economic imperatives, thereby overcoming previous descriptive limitations and offering a clear methodological innovation based on real data and executed numerical calculations.

Keywords: linear Diophantine fuzzy graphs, energy crisis, supply optimization, logistics resilience, mathematical modeling.

Хибридни VNS и тежински Dancing Links приступ за проблем комплетирања тежинских Латинских квадрата

Лука Маслењак^{1*}

¹ Универзитет Унион, Рачунарски факултет, Београд, Србија

* lmassenjak@raf.rs

Проблем комплетирања парцијално попуњених Латинских квадрата (*the partial Latin square completion problem*) савремена рачунарска теорија сместила је у класу НП-комплетних проблема. Посебно изазовну варијанту овог проблема, која се налази у фокусу овог рада, представља проблем тежинских Латинских квадрата. У разматраном проблему уводи се тродимензионални вектор трошкова који сваком потенцијалном симболу, за сваку преосталу и непопуњену ћелију матрице димензија $n \times n$, додељује одговарајућу нумеричку цену. Придруживањем функције тежине настаје комплексан задатак комбинаторне оптимизације, чији је циљ проналажење комплетирања које поштује сва структурна правила Латинских квадрата, за које сума тежина изабраних симбола достиже минимум. Тежински модел налази примену у оптимизацији распореда рада у здравству и фабричким погонима, те у дизајну телекомуникационих мрежа. Традиционални, егзактни алгоритми суочавају се са експоненцијалном сложености, што у пракси онемогућава третирање инстанци већих димензија, па настаје потреба за развојем хибридних рачунарских модела. У овом раду предложен је специфичан алгоритамски оквир који превазилази ова ограничења спајањем метахеуристичке претраге променљивих околина (*Variable Neighborhood Search* – VNS) и модификоване верзије Кнutowог алгоритма X, имплементираног кроз напредну структуру двоструко повезаних кружних листи (*Dancing Links* – DLX). Срж предложеног алгоритма лежи у концепту полиномне редукције, чиме се полазни оптимизациони проблем трансформише у тежински проблем тачног покривања (*Weighted Exact Cover*). Ова редукција омогућава превођење специ-

фичних правила Латинског квадрата у генерички облик матричних ограничења, чиме се омогућава примена Кнutowог алгоритма који се у пракси показао супериорнијим у односу на алгоритме засноване на Дејвис–Патнам–Логеман–Лавлендовој процедури. Током ове конверзије, свако слободно поље, сви редови и колоне, пресликавају се у строго дефинисане колоне ограничења, док се потенцијална додељивања симбола претварају у редове бинарне матрице са придруженим ценама. Решавањем еквивалентне формулације, имплицитно и на ефикаснији начин долази се до решења изворног проблема. Ипак, како је и Кнutow алгоритам у теорији експоненцијално спор, директна претрага би брзо наишла на практично ограничење рачунарских ресурса. Предложени модел уводи динамички прорачун тежина ограничења унутар VNS метахеуристике, а тестиран је на инстанцама проблема до димензије $n=10$. Главна процедура користи процесе нарушавања тренутног решења издвајањем варијабилног броја нефиксних редова, након чега следи похлепно локално претраживање. Током итерација, алгоритам прати прекривеност сваке колоне ограничења, те на основу успешних промена израчунава и нормализује динамичке тежине за свако појединачно ограничење. Резултати ове анализе прослеђују се у модификовани DLX решавач. Приликом избора следеће гране у стаблу претраге, тежински Кнutow алгоритам приоритет даје структурно најтежим ограничењима која имају највећи количник тренутне научене тежине и величине колоне. Овом спрегом знатно се сужава простор претраге и драстично убрзава конвергенција. По завршетку селекције, инверзном полиномном редукцијом реконструише се оптимални тежински Латински квадрат. Ефикасност предложеног метода верификована је кроз серију експеримената над насумично генерисаним инстанцама различитих димензија. Резултати показују да повећањем димензионалности проблема конвенционални егзактни решавачи брзо губе ефикасност и не успевају да пронађу решење већ од димензија где је $n=8$ па надаље. На супрот томе, предложени хибридни приступ у свим тестираним случајевима успешно проналази или глобално оптимално решење или висококвалитетно апроксимативно решење, уз минимално временско ангажовање. Ови емпиријски подаци недвосмислено потврђују постављену хипотезу о синергији метахеуристичког вођења и егзактног претраживања, која омогућава решавање инстанци које су димензионално недостижне за класичне приступе.

Кључне речи: тежински Латински квадрати, комбинаторна оптимизација, претрага променљивих околина (VNS), Dancing Links (DLX), хибридни алгоритми.

A Hybrid VNS and Weighted Dancing Links Approach to the Weighted Latin Square Completion Problem

Luka Maslenjak^{1*}

¹ Union University, Faculty of Computing, Belgrade, Serbia

* lmassenjak@raf.rs

The problem of completing partially filled Latin squares has been classified in modern computational theory as an NP-complete problem. A particularly challenging variant, which represents the focus of this paper, is the Weighted Latin Square Completion Problem. In this formulation, a three-dimensional cost vector assigns a numerical weight to every possible symbol for each

unfilled cell of an $n \times n$ matrix. By introducing a weight function, the problem becomes a complex combinatorial optimization task whose objective is to find a valid completion satisfying all structural constraints of Latin squares, for which the total sum of the selected symbols reaches minimum. Weighted Latin squares have direct applications in workforce scheduling, manufacturing optimization, and telecommunication network design. Since traditional exact algorithms suffer from exponential complexity, solving larger instances in practice becomes computationally infeasible, motivating the development of hybrid computational frameworks. This paper proposes a specialized algorithmic framework that overcomes these limitations by combining Variable Neighborhood Search (VNS) metaheuristics with a modified version of Knuth's Algorithm X implemented through the Dancing Links (DLX) data structure. The core of the proposed approach relies on a polynomial reduction that transforms the original optimization problem into a Weighted Exact Cover problem. This reduction is essential because it converts the specific constraints of Latin squares into a generic matrix constraint representation, enabling the application of Knuth's algorithm, which has demonstrated strong practical efficiency compared to algorithms based on the Davis–Putnam–Logemann–Loveland procedure. During this transformation, every empty cell, row, and column is mapped to a corresponding constraint column, while candidate symbol assignments become rows of a binary matrix with associated costs. To address the exponential complexity of direct DLX search, the proposed model introduces dynamic constraint weighting within the VNS framework, which was tested on problem instances up to dimension $n=10$. The algorithm iteratively perturbs the current solution by removing a variable number of non-fixed rows, followed by a greedy local search procedure. During the search, the method monitors the coverage frequency of each constraint column and dynamically updates normalized weights according to successful modifications. These learned weights are then forwarded to the weighted DLX solver, which prioritizes branching toward structurally important constraints based on the ratio between learned weights and column size. This interaction significantly reduces the search space and accelerates convergence. After optimization, the final weighted Latin square is reconstructed through inverse polynomial reduction. Experimental evaluation on randomly generated benchmark instances of varying dimensions demonstrates that conventional exact solvers rapidly lose efficiency for instances with $n \geq 8$. In contrast, the proposed hybrid approach consistently produces either globally optimal or high-quality approximate solutions within short computational time. The obtained results strongly support the hypothesis that combining metaheuristic guidance with exact search enables efficient solving of instances that are dimensionally intractable for classical approaches.

Keywords: weighted Latin squares, combinatorial optimization, Variable Neighborhood Search (VNS), Dancing Links (DLX), hybrid algorithms.

Евалуација самонадгледаног приступа и дубоких конволуционих неуронских мрежа за процену квалитета људских ембриона

Ивана Милутиновић^{1,2*} и Немања Милошевић¹

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за математику и информатику, Нови Сад, Србија

² Универзитет Унион, Рачунарски факултет, Београд, Србија

* imilutinovic@raf.rs

Процена квалитета ембриона у *in vitro* фертилизацији (ИВФ) представља критичан фактор за постизање успешне имплантације и исхода трудноће. Тренутно се клиничка пракса у великој мери ослања на субјективну визуелну инспекцију од стране ембриолога, што уноси значајну варијабилност и ризик од одбацивања вијабилних ембриона или селекције оних са ниским развојним потенцијалом. Иако модели дубоког учења нуде потенцијално решење за аутоматизацију, примену стандардних конволуционих неуронских мрежа (CNN) у овој медицинској области често ограничава оскудица висококвалитетних аотираних података и екстремна неуравнотеженост класа. Примарни циљ овог истраживања је процена и квантификација ефикасности напредних стратегија обуке, посебно утицаја самонадгледаног учења (SSL) и дизајна мултимодалних архитектура на бинарну класификацију слика ембриона. Истраживање тежи да утврди да ли специјализовани модели који интегришу клиничке метаподатке могу надмашити моделе опште намене у условима ограничених, неуравнотежених медицинских података. У раду је коришћен јавно доступан Kaggle скуп података који се састоји од 840 микроскопских слика ембриона, карактерисан екстремном неуравнотеженошћу класа, где 85,24% примера припада класи ниског потенцијала. Експериментални оквир је разматрао три различита архитектонска приступа. Прво, основни надгледани SimpleCNN модел (приближно 700.000 параметара) обучен је од нуле. Друго, примењен је трансфер знања коришћењем архитектура опште намене (ResNet18, MobileNetV3-Large, EfficientNet-B0), које су претходно обучене на необележеним сликама ембриона применом приступа самонадгледаног учења ради екстракције релевантних визуелних карактеристика. Треће, коришћена је специјализована EmbryoNet архитектура, постојећи модел који користи фузију улазних модалитета повезујући екстракцију визуелних карактеристика са нумеричком вредношћу дана развоја ембриона. Како би се решио проблем неуравнотежености класа, примењена је комбинација аугментације података, контролисаног оверсемплинга мањинске класе и функције губитка пондерисане унакрсне ентропије. Обука је спроведена током максимално 75 епоха, уз употребу AdamW оптимизатора и имплементацију механизма раног заустављања на основу валидационог Макро F1-мере ради спречавања преобучавања. Евалуација на изолованом тест скупу идентификовала је EmbryoNet модел као најефикасније решење, постигавши највишу тачност од 0,8690, најбољу вредност Макро F1-мере од 0,6333 и најнижи финални губитак од 0,3929. Ово потврђује хипотезу да интеграција клиничких метаподатака значајно побољшава перформансе. Међу стандардним моделима, ResNet18 је показао највећу стабилност са тачношћу од 0,8571 и F1-мером од 0,5862. Насупрот томе, SimpleCNN и EfficientNet-B0 су показали субоптималне перформансе, са вредностима F1-мере око 0,40. Поред тога, архитектура MobileNetV3-Large се показала као високо осетљива на екстремну манипулацију критеријумом губитка, што је резултирало потпуним

колапсом класификатора током тестирања. Резултати указују на то да специјализоване мултимодалне архитектуре дизајниране за задатке специфичне за домен, у комбинацији са суптилним механизмима регуларизације, нуде супериорне способности генерализације у поређењу са моделима опште намене када се ради са малим, неуравнотеженим медицинским скуповима података. Потенцијал будућих истраживања огледа се у примени напредних стратегија балансирања, као што је Focal Loss, као и у интеграцији механизма пажње ради динамичког пондерисања визуелних карактеристика у односу на дескриптивне метаподатке.

Кључне речи: конволуционе неуронске мреже, самонадгледано учење, неуравнотеженост података, трансфер учење, EmbryoNet.

Evaluation of Self Supervised Learning and Deep Convolutional Neural Networks for Human Embryo Quality Assessment

Ivana Milutinović^{1,2} and Nemanja Milošević¹*

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Mathematics and Informatics, Novi Sad, Serbia

² Union University, Faculty of Computing, Belgrade, Serbia

* imilutinovic@raf.rs

The assessment of embryo quality in *in vitro* fertilization (IVF) is a critical factor for achieving successful implantation and pregnancy outcomes. Currently, clinical practice relies heavily on subjective visual inspection by embryologists, which introduces significant variability and the risk of discarding viable embryos or selecting those with low developmental potential. While deep learning models offer a potential solution for automation, the application of standard convolutional neural networks (CNNs) in this medical domain is frequently hindered by the scarcity of high-quality annotated data and extreme class imbalance. The primary objective of this research is to evaluate and quantify the effectiveness of advanced training strategies, specifically the impact of self-supervised learning (SSL) pre-training and multimodal architecture design, on the binary classification of embryo images. The study aims to determine whether specialized models that integrate clinical metadata can outperform general-purpose models in the presence of limited, imbalanced medical data. This study utilized a publicly available Kaggle dataset consisting of 840 microscopic embryo images, characterized by an extreme class imbalance where 85.24% of instances belong to the low-potential class. The experimental framework compared three distinct architectural approaches. First, a baseline supervised SimpleCNN model (approx. 700,000 parameters) was trained from scratch. Second, we implemented knowledge transfer using general-purpose architectures (ResNet18, MobileNetV3-Large, EfficientNet-B0) which were pre-trained on unlabeled embryo images using a self-supervised learning approach to extract relevant visual features. Third, we utilized the specialized EmbryoNet architecture, a pre-existing model that uses input modality fusion by coupling visual feature extraction with the numerical value of the embryo's developmental day. To address the class imbalance, we employed a combination of data augmentation, controlled minority class oversampling, and a weighted cross-entropy loss function. Training was conducted for a maximum of 75 epochs, utilizing the AdamW optimizer and implementing

an early stopping mechanism based on the validation Macro F1-score to prevent overfitting. The evaluation on the isolated test set identified the EmbryoNet model as the most effective solution, achieving the highest accuracy of 0.8690, the best Macro F1-score of 0.6333, and the lowest final loss of 0.3929. This validates the hypothesis that clinical metadata integration significantly enhances performance. Among the standard models, ResNet18 demonstrated the highest stability with an accuracy of 0.8571 and an F1-score of 0.5862. In contrast, both SimpleCNN and EfficientNet-B0 showed suboptimal performance, with F1-score values clustering around 0.40. Furthermore, the MobileNetV3-Large architecture proved highly susceptible to extreme manipulation of the loss criterion, resulting in complete classifier collapse during testing. The findings indicate that specialized multimodal architectures designed for domain-specific tasks, combined with nuanced regularization, offer superior generalization capabilities compared to general-purpose models when dealing with small, imbalanced medical datasets. The potential for future research lies in the application of advanced balancing strategies, such as Focal Loss, as well as in the integration of attention mechanisms for the dynamic weighting of visual features relative to descriptive metadata.

Keywords: convolutional neural networks, self-supervised learning, data imbalance, transfer learning, EmbryoNet.

Примена Марковљевих процеса у моделовању сарадње мултиагентских AI система

Стефан Поповић^{1*} и Соња Ђукић Поповић²

¹ Алфа БК Универзитет, Факултет за математику и рачунарске науке, Београд, Србија

² Универзитет у Београду, Математички факултет, Београд, Србија

* stefan.popovic@alfa.edu.rs

Развој мултиагентских система заснованих на вештачкој интелигенцији намеће потребу за математичким моделима који омогућавају анализу динамике сарадње, доношења одлука и расподеле задатака између више аутономних агената. Марковљеви процеси представљају један од најзначајнијих стохастичких алата за моделовање система чија будућа стања зависе искључиво од тренутног стања, што их чини погодним за анализу интеракција у мултиагентским окружењима. У раду је представљен предлог могућег математичког модела сарадње мултиагентског AI система заснован на дискретним Марковљевим ланцима, при чему се стања система дефинишу као различити облици сарадње, расподеле задатака и комуникације између агената. Прелази између стања описани су матрицом прелазних вероватноћа, чији се елементи одређују на основу понашања агената и правила одлучивања. Анализирају се стационарне расподеле, апсорбујућа стања, очекивано време достизања циљног стања и вероватноће конвергенције ка оптималном облику сарадње. Посебна пажња посвећена је испитивању стабилности система и утицају промена параметара модела на ефикасност колективног одлучивања. Резултати указују да Марковљев модел омогућава формалну анализу динамике сарадње, идентификацију критичних стања система и процену вероватноће успешне реализације

задатака у условима неизвесности. Предложени приступ представља основу за даљи развој хибридних математичких модела који интегришу Марковљеве процесе, оптимизационе алгоритме и методе машинског учења ради повећања поузданости и адаптивности мултиагентских AI система.

Кључне речи: Марковљеви процеси, мултиагентски системи, вештачка интелигенција, стохастичко моделирање, математичко моделирање.

Application of Markov Processes in Modeling Cooperation in Multi-Agent AI Systems

Stefan Popović^{1} and Sonja Djukić Popović²*

¹ Alfa BK University, Faculty of Mathematics and Computer Sciences, Belgrade, Serbia

² University of Belgrade, Faculty of Mathematics, Belgrade, Serbia

* stefan.popovic@alfa.edu.rs

The development of artificial intelligence-based multi-agent systems creates a need for mathematical models that enable the analysis of the dynamics of cooperation, decision-making, and task allocation among multiple autonomous agents. Markov processes represent one of the most significant stochastic tools for modeling systems whose future states depend solely on the current state, making them suitable for analyzing interactions in multi-agent environments. This paper proposes a mathematical model for cooperation within a multi-agent AI system based on discrete Markov chains, where system states are defined as various forms of cooperation, task allocation, and agent communication. State transitions are described by a transition probability matrix, with elements determined by agent behavior and decision-making rules. The study analyzes stationary distributions, absorbing states, the expected time to reach a target state, and convergence probabilities toward an optimal form of cooperation. Particular attention is paid to examining system stability and the impact of model parameter changes on the efficiency of collective decision-making. The results indicate that the Markov model enables a formal analysis of cooperation dynamics, the identification of critical system states, and the assessment of the probability of successful task execution under conditions of uncertainty. The proposed approach provides a foundation for the further development of hybrid mathematical models that integrate Markov processes, optimization algorithms, and machine learning methods to enhance the reliability and adaptability of multi-agent AI systems.

Keywords: Markov processes, multiagent systems, artificial intelligence, stochastic modeling, mathematical modeling.

Нека својства Цесаро средина Фурије–Јакобијевог реда

Самра Садиковић Хајрић^{1} и Селма Карахоџић¹*

¹ Универзитет у Тузли, Природно-математички факултет, Одсјек математика, Тузла,
Босна и Херцеговина

* samra.sadikovic@untz.ba

У овом раду разматрамо одређена аналитичка својства Цесаро средина Фурије–Јакобијевог реда, дефинисаних за $\delta > -1$ и $f \in L_1(\alpha, \beta)$ на следећи начин

$$\sigma_n^\delta(f, x) = \frac{1}{A_n^\delta} \sum_{k=0}^n A_{n-k}^\delta S_k^{(\alpha, \beta)}(f, x), \text{ гдје су } A_n^\delta = \frac{\Gamma(n+\delta+1)}{\Gamma(n+1)\Gamma(\delta+1)} \text{ Цесаро бројеви, а } S_k^{(\alpha, \beta)}(f, x)$$

означава парцијалну суму реда. Цесаро средине имају значајну улогу у теорији ортогоналних развоја, посебно у контексту проблема конвергенције парцијалних сума. Иако су многи аспекти њихове L_p теорије детаљно проучени, финије особине везане за осцилаторно понашање и даље захтијевају додатну анализу. Циљ овог рада је да се испитају одређени аспекти понашања Цесаро средина кроз анализу њихових разлика и придружених функционала. Полазимо од наведене репрезентације и користимо трансформационе технике како бисмо добили погодну форму за даљу анализу. Кључни корак састоји се у раздвајању оператора на двије компоненте у зависности од геометријског односа варијабли, што омогућава да се различити дијелови анализирају одвојено. У том оквиру добијамо нове процјене за поједине компоненте, ослањајући се на познате особине коефицијената и стандардне методе хармонијске анализе. Резултати показују да се одређени дијелови оператора могу контролисати у одговарајућим L_p просторима кориштењем квадратно-функционалних процјена, док други дијелови захтијевају суптилнији приступ. Посебно се истиче да стандардне процјене засноване на апсолутној вриједности не дају довољно информација у свим случајевима, што указује на потребу за финијом анализом структуре оператора. Закључно, добивени нови резултати доприносе бољем разумијевању понашања Цесаро средина Фурије–Јакобијевог реда и указују на правце даљег истраживања, нарочито у погледу детаљније анализе њихових осцилаторних својстава.

Кључне ријечи: Фурије–Јакобијев ред, Цесаро средине, оцјене језгра, хармонијска анализа.

Some Properties of the Cesàro Means for Fourier–Jacobi Series

Samra Sadiković Hajrić^{1} and Selma Karahodžić¹*

¹ University of Tuzla, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Department of Mathematics,
Tuzla, Bosnia and Herzegovina

* samra.sadikovic@untz.ba

In this paper, we investigate certain analytical properties of the Cesàro means associated with

Fourier–Jacobi series. For $\delta > -1$ and $f \in L_1(\alpha, \beta)$ the Cesàro means of the Fourier–Jacobi series are defined by $\sigma_n^\delta(f, x) = \frac{1}{A_n^\delta} \sum_{k=0}^n A_{n-k}^\delta S_k^{(\alpha, \beta)}(f, x)$, where $A_n^\delta = \frac{\Gamma(n + \delta + 1)}{\Gamma(n + 1)\Gamma(\delta + 1)}$ are Cesàro numbers and $S_k^{(\alpha, \beta)}(f, x)$ denotes the partial sum. Cesàro means play an important role in the theory of orthogonal expansions, particularly in connection with the convergence of partial sums. Although many aspects of their L_p theory are well understood, finer properties related to the oscillatory behavior remain less explored. The aim of this paper is to examine certain aspects of the behavior of Cesàro means through the analysis of their increments and associated functionals. Starting from the above representation, we employ transformation techniques to obtain a suitable form for further analysis. A key step consists in decomposing the operator into two components depending on the geometric relation between variables, which allows for a separate treatment of different parts. Within this framework, we derive appropriate estimates for certain components of the operator, relying on known properties of the coefficients and standard tools from harmonic analysis. The results indicate that some parts of the operator can be controlled in appropriate L_p spaces via square-function type estimates, while other parts require a more delicate approach. In particular, it is observed that estimates based solely on absolute values do not provide sufficient information in all cases, which suggests the necessity of a more refined analysis of the operator structure. In conclusion, the obtained new results contribute to a better understanding of the behavior of Cesàro means of Fourier–Jacobi series and point to directions for further research, especially concerning a more detailed analysis of their oscillatory properties.

Keywords: Fourier–Jacobi series, Cesàro means, Kernel estimates, harmonic analysis.

Квантни алгоритми у криптоанализи

Тијана Талић^{1*} и Дејан Јанковић²

¹ Универзитет Апеирон, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Грађевинска школа, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* tijana.talic@gmail.com

Квантни рачунари кориштењем принципа суперпозиције и квантне испреплетености омогућавају рјешавање одређених проблема знатно брже од класичних рачунара. У овом раду анализирају се основни принципи квантног рачунарства те њихов утицај на рањивост постојећих криптографских система који представљају основу заштите у савременој дигиталној комуникацији. Циљ овог аналитичког рада је да прикаже и анализира значај квантних алгоритама у криптоанализи као и њихове предности и недостатке. Посебан нагласак је стављен на Шоров алгоритам који због ефикасне факторизације великих бројева утиче на сигурност RSA и других асиметричних алгоритама. Такође, анализира се и Гроверов алгоритам који утиче на сигурност симетричних криптосистема. У раду су, осим методе теоријске анализе, кориштене метода компаративне анализе за поређење квантних и класичних алгоритама у рјешавању криптографских проблема и метода софтверске симулације (*IBM Qiskit*) за имплементацију Шоровог и Гроверовог алгоритма. Резултати овог истраживања су потврдили да Шоров алгоритам угрожава и утиче на „рањивост“ асиметричних криптографских система, док Гроверов алгоритам

због могућности брже претраге простора кључева смањује ефективну сигурност симетричних система. У раду закључујемо да убрзан напредак квантног рачунарства указује на потребу прилагођавања постојећих система заштите и развоја нових метода отпорних на квантне нападе.

Кључне ријечи: квантно рачунарство, криптоанализа, Шоров алгоритам, Гроверов алгоритам.

Quantum Algorithms in Cryptanalysis

Tijana Talić^{1*} and Dejan Janković²

¹ University Apeiron, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² Civil Engineering School, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* tijana.talic@gmail.com

Quantum computers, using the principles of superposition and quantum entanglement, enable the solution of certain problems much faster than classical computers. This paper analyzes the basic principles of quantum computing and their impact on the vulnerability of existing cryptographic systems that represent the basis of protection in modern digital communication. The aim of the paper is to present and analyze the importance of quantum algorithms in cryptanalysis, as well as their advantages and disadvantages. Special emphasis is placed on Shor's algorithm, which, due to its efficient factorization of large numbers, affects the security of RSA and other asymmetric algorithms. Grover's algorithm, which affects the security of symmetric cryptosystems, is also analyzed. In addition to the theoretical analysis method, the paper uses the comparative analysis method to compare quantum and classical algorithms in solving cryptographic problems and the software simulation method (*IBM Qiskit*) to implement Shor's and Grover's algorithms. The results of this research have confirmed that Shor's algorithm threatens and affects the "vulnerability" of asymmetric cryptographic systems, while Grover's algorithm, due to the possibility of faster key space search, reduces the effective security of symmetric systems. In the paper, we conclude that the rapid progress of quantum computing indicates the need to adapt existing protection systems and develop new methods resistant to quantum attacks.

Keywords: quantum computing, cryptanalysis, Shor's algorithm, Grover's algorithm.

Уопштене инверзије линеарних комбинација Мур–Пенрозових хермитских матрица са илустративним примерима

Марина Тошић^{1*}

¹ Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Природно-математички факултет, Департман за математику, Косовска Митровица, Србија

* marina.tosic@pr.ac.rs

Проучавамо уопштене инверзије линеарних комбинација Мур–Пенрозових хермитских матрица, односно матрица које задовољавају услов. Такве матрице играју важну улогу у теорији уопштених инверзија и природно се јављају у различитим проблемима линеарне алгебре и теорије оператора, посебно у анализи матричних једначина и декомпозиција оператора. Проблем одређивања облика уопштених инверзија линеарних комбинација уско је повезан са структуром опсега матрица, нул-простора и својствима комутативности, и широко је проучаван због свог теоријског и практичног значаја. Главни циљ овог истраживања јесте добијање експлицитних репрезентација Мур–Пенрозове инверзије и групне инверзије линеарних комбинација комутативних Мур–Пенрозових хермитских матрица под различитим условима. Конкретно, разматрамо линеарне комбинације облика и при чему матрице које учествују комутију и задовољавају додатне структурне претпоставке. Такође се успостављају неопходни и довољни услови инвертибилности, што омогућава дубље разумевање односа између алгебарске структуре и инвертибилности. Методе које се користе у анализи заснивају се на блок-матричним репрезентацијама, својствима Мур–Пенрозових хермитских матрица и алгебарским техникама везаним за комутативне матрице и опште инверзије. Посебно се користе структурне декомпозиције и разматрања ранга како би се извеле експлицитне формуле и карактерисало понашање оваквих матричних комбинација. Ови алати омогућавају јединствен приступ проблему и воде ка експлицитним формулама за уопштене инверзије, као и карактеризацијама несингуларности у терминима опсега и нул-простора. Главни резултати су приказани кроз низ репрезентативних теорема, укључујући експлицитне изразе за Мур–Пенрову инверзију и групну инверзију, као и услове за симултану инвертибилност матричних комбинација. Посебни случајеви су такође анализирани, што доводи до поједностављених облика добијених резултата и додатног увида у структуру проблема. Теоријски резултати илустровани су пажљиво одабраним матричним примерима, који показују примењивост добијених формула и пружају додатни увид у структуру Мур–Пенрозових хермитских матрица и њихових линеарних комбинација. Ови примери помажу да се разјасни улога услова комутативности и наглашавају интеракцију између алгебарских својстава и инвертибилности, чинећи теоријске резултате транспарентнијим и лакшим за интерпретацију. *Захвалница:* Аутор је подржан грантом бр. 451-03-34/2026-03 Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

Кључне речи: опште инверзије, Мур–Пенрозова инверзија, групна инверзија, линеарне комбинације матрица, Мур–Пенрозове хермитске матрице.

Generalized Inverses of Linear Combinations of Moore–Penrose Hermitian Matrices with Illustrative Examples

Marina Tošić^{1*}

¹ University of Priština in Kosovska Mitrovica, Faculty of Sciences and Mathematics,
Department of Mathematics, Kosovska Mitrovica, Serbia

* marina.tosic@pr.ac.rs

We study generalized inverses of linear combinations of Moore–Penrose Hermitian matrices, that is, matrices satisfying $AX = XA = X$. Such matrices play an important role in the theory of generalized inverses and arise naturally in various problems of linear algebra and operator theory, particularly in the analysis of matrix equations and operator decompositions. The problem of determining the form of generalized inverses of linear combinations is closely related to the structure of matrix ranges, null spaces, and commuting properties, and has been widely studied due to its theoretical and practical significance. The main goal of this research is to obtain explicit representations of the Moore–Penrose inverse and the group inverse, of linear combinations of commuting Moore–Penrose Hermitian matrices under various conditions. In particular, we consider linear combinations of the form $\sum_{i=1}^n \alpha_i A_i$ where the matrices involved commute and satisfy additional structural assumptions. Necessary and sufficient conditions for invertibility are also established, providing a deeper understanding of the interplay between algebraic structure and invertibility. The methods used in the analysis are based on block matrix representations, properties of Moore–Penrose Hermitian matrices, and algebraic techniques related to commuting matrices and generalized inverses. In particular, we exploit structural decompositions and rank considerations to derive explicit formulas and characterize the behavior of such matrix combinations. These tools allow a unified treatment of the problem and lead to explicit formulas for generalized inverses, as well as characterizations of nonsingularity in terms of ranges and null spaces. The main results are presented through a sequence of representative theorems, including explicit expressions for the Moore–Penrose inverse and the group inverse, as well as conditions for simultaneous invertibility of matrix combinations. Special cases are also analyzed, leading to simplified forms of the obtained results and providing further insight into the structure of the problem. The theoretical results are illustrated by carefully chosen matrix examples, which demonstrate the applicability of the obtained formulas and provide additional insight into the structure of Moore–Penrose Hermitian matrices and their linear combinations. These examples help clarify the role of commuting conditions and highlight the interaction between algebraic properties and invertibility, making the theoretical results more transparent and easier to interpret. *Acknowledgments:* The author is supported by Grant No. 451-03-34/2026-03 of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation, Republic of Serbia.

Keywords: generalized inverses, Moore–Penrose inverse, group inverse, linear combinations of matrices, Moore–Penrose Hermitian matrices.

Апроксимација Платонових тијела разломцима златног пресека: цјелобројне вриједности k и њихово геометријско поријекло

Анил Тунч^{1*}

¹ Универзитет Докуз Ејлул, Измир, Турска

* anil.tunc@ogr.deu.edu.tr

Златни пресјек ($\phi \approx 1,618$) представља фундаменталну ирационалну константу која се често јавља у математици, физици и природним наукама, а најчешће се доводи у везу са геометријским пропорцијама и симетријом. Иако су претходна истраживања разматрала однос између пет правилних Платонових тијела и златног пресека кроз дужине ивица, координате и својства симетрије, однос запремине и површине (V/SA) у вези са ϕ до сада је релативно мало проучаван у литератури. Основни циљ овог рада јесте да испита да ли се односи V/SA пет Платонових тијела (тетраедар, коцка, октаедар, додекаедар и икосаедар) могу апроксимирати изразима облика ϕ/k , гдје је k позитиван цио број, као и да се истраже могућа геометријска или симетријска објашњења таквих апроксимација. Анализа је заснована на геометријском идентитету $V/SA = r_{in}/3$, гдје r_{in} означава полупречник уписане сфере одговарајућег тијела. Ради обезбјеђивања стандардизоване нормализације, сва Платонова тијела разматрана су са јединичном дужином ивице ($a = 1$). На основу ове релације дефинисан је параметар скалирања $k = 3\phi/r_{in}$, што омогућава директно поређење односа V/SA са разломком ϕ/k . За процјену тачности апроксимације уведена је нормализована мјера названа T_e индекс: $T_e = 100 \times (1 - |V/SA - \phi/k| / (\phi/k))$, која представља процентуалну блискост цјелобројне апроксимације. Израчунате вриједности параметра k веома су блиске цијелим бројевима 24, 10, 12, 4 и 6 за тетраедар, коцку, октаедар, додекаедар и икосаедар, редом. Одговарајуће T_e вриједности износе 99,1, 97,0, 99,1, 91,8 и 93,4, што указује на грешке апроксимације мање од 10% у свим случајевима. Уочено је и више занимљивих нумеричких релација. На примјер, група симетрије тетраедра има ред 24, што се поклапа са цјелобројном апроксимацијом за тетраедар. Даље, када је октаедар уписан у тетраедар, његов полупречник уписане сфере постаје двоструко већи, што доводи до k -вриједности која је тачно упола мања од оне за тетраедар (12). Дуални пар коцка–октаедар даје вриједности 10 и 12, чији однос ($12/10 = 1,2$) може одражавати структурну запреминску повезаност ова два тијела. Слично томе, додекаедар и икосаедар конвергирају ка блиским цијелим бројевима 4 и 6, иако дијеле групу симетрије реда 60. У цјелини посматрано, резултати откривају уочљив нумерички образац и указују на претпостављену повезаност између Платонових тијела, структура симетрије и цјелобројних апроксимација заснованих на златном пресеку. Умјесто успостављања доказаног геометријског закона, ово истраживање уводи цјелобројну перспективу на потенцијално неочигледну везу која заслужује даља теоријска проучавања.

Кључне ријечи: златни пресјек, Платонова тијела, однос запремине и површине, цјелобројна апроксимација, симетрија.

Approximation of Platonic Solids to Golden Ratio Fractions: Integer k Values and Their Geometric Origins

Anıl Tunç^{1*}

¹ Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye

* anil.tunc@ogr.deu.edu.tr

The golden ratio ($\phi \approx 1.618$) is a fundamental irrational constant frequently appearing in mathematics, physics, and the natural sciences, often associated with geometric proportions and symmetry. While previous studies have examined the relationship between the five regular Platonic solids and the golden ratio through edge lengths, coordinates, and symmetry properties, the behavior of the volume-to-surface-area ratio (V/SA) in relation to ϕ has received limited attention in the literature. The primary objective of this study is to investigate whether the V/SA ratios of the five Platonic solids (tetrahedron, cube, octahedron, dodecahedron, and icosahedron) can be approximated by expressions of the form ϕ/k , where k is a positive integer, and to explore possible geometric or symmetry-related origins of such approximations. The analysis is based on the geometric identity $V/SA = r_{in}/3$, where r_{in} denotes the inradius of the corresponding solid. To ensure a standard normalization, all Platonic solids are considered with unit edge length ($a = 1$). Using this relation, a scaling parameter is defined as $k = 3\phi/r_{in}$, enabling a direct comparison between the V/SA ratio and the fraction ϕ/k . To evaluate approximation accuracy, a normalized measure called the T_e index is introduced: $T_e = 100 \times (1 - |V/SA - \phi/k| / (\phi/k))$, representing the percentage closeness of the integer approximation. The calculated values of k closely approximate the integers 24, 10, 12, 4, and 6 for the tetrahedron, cube, octahedron, dodecahedron, and icosahedron, respectively. The corresponding T_e values are 99.1, 97.0, 99.1, 91.8, and 93.4, indicating approximation errors below 10% in all cases. Several notable numerical relations also emerge. For example, the tetrahedral symmetry group has order 24, matching the integer approximation of the tetrahedron. Furthermore, when an octahedron is inscribed within a tetrahedron, its inradius becomes twice as large, yielding a k -value exactly half that of the tetrahedron (12). The cube–octahedron dual pair produces values 10 and 12, whose ratio ($12/10 = 1.2$) may reflect a structural volumetric relationship between the two solids. Likewise, the dodecahedron and icosahedron converge to the nearby integers 4 and 6, despite sharing a symmetry group of order 60. Overall, the findings reveal an observed numerical pattern and suggest a conjectural relationship between Platonic solids, symmetry structures, and golden-ratio-based integer approximations. Rather than establishing a proven geometric law, this study introduces an integer-based perspective on a potentially nontrivial relationship that warrants further theoretical investigation.

Keywords: golden ratio, Platonic solids, volume-to-surface area ratio, integer approximation, symmetry.

Теолошка пристрасност великих језичких модела у питањима помирења: студија заснована на побудама осјетљивим из угла православног хришћанства

Димитрије Д. Чвокић^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* dimitrije.cvokic@pmf.unibl.org

Рад испитује теолошку пристрасност великих језичких модела (ВЈМ) у питањима помирења, на основу побуда осјетљивих из угла православног хришћанства. За разлику од упоредних побуда, које од ВЈМ-а траже избор између теолошких алтернатива, побуде помирења од њих траже да посредују између дјелимично супротстављених позиција предлагањем компромиса, синтезе, треће позиције или дијалошког оквира. Циљ рада је да се утврди да ли такви сервиси, када су подстакнути да помире теолошке разлике, чувају православно специфичне категорије или их преводе у симетричне компромисе, дијалошку коегзистенцију или пак псеудоформалну синтезу. Истраживање анализира корпус од 65 питања помирења груписаних у шест домена: природа Бога и Откривење, спасење, Црква, свете тајне и богослужење, Предање и Свето писмо, те антропологија и есхатологија. Седам најпознатијих јавних ВЈМ сервиса су више пута побуђивани: Chat-GPT, Claude, DeepSeek, Gemini, Grok, Kimi и Qwen. Из 413 текстуалних записа издвојене су 4384 употребљиве јединице типа ВЈМ сервис–побуда–исход. Оне су кодиране разликовањем помирења које чува конфесионалну специфичност, конфесионалног поравнања, помјерања ка неправославном оквиру и неважећих или несадржајних одговора, уз биљежење доминантног начина оправдања. Кодирање је спроведено према унапријед дефинисаној шеми, уз конзервативна правила за нејасне случајеве и накнадну провјеру конзистентности. Резултати показују да побуде помирења ријетко доводе до експлицитног одбијања одговора. Умјесто тога, доминантан образац је прекомјерно помирење: сервиси често претварају догматску супротстављеност у различите семантичке нивое, комплементарне перспективе, заједничку етичку основу или псеудоформални компромис налик Нешовом арбитражном моделу. Помирење које чува конфесионалну специфичност најјасније се јавља у побудама које се тичу Предања, Светог писма, свјетих тајни и црквеног ауторитета, док је конфесионално поравнање најизраженије у питањима христологије, откривења, личности и есхатологије. Утврђено је да се теолошка пристрасност у контексту помирења не јавља прије свега као непријатељство према православним хришћанским категоријама, већ као прекомјерни иренизам: сервис чува привид дијалога, али истовремено слаби конфесионалну асиметрију самог питања.

Кључне ријечи: велики језички модели, теолошка пристрасност, анализа побуда, Нешова арбитража, квалитативно кодирање.

Theological Reconciliation Bias in Large Language Models: An Orthodox Christian Sensitive Prompt-Based Study

Dimitrije D. Čvokić^{1}*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* dimitrije.cvokic@pmf.unibl.org

This paper examines theological reconciliation bias in public large language models (LLMs), using prompts sensitive from an Orthodox Christian perspective. Unlike comparative prompts, which ask an LLM service to choose between theological alternatives, reconciliation prompts ask it to mediate between partially opposed positions by proposing a compromise, synthesis, third position, or dialogical framework. The aim of the study is to determine whether such services, when asked to reconcile theological differences, preserve Orthodox-specific categories or translate them into symmetrical compromise, dialogical coexistence, or pseudo-formal synthesis. The study analyzes a corpus of 65 reconciliation questions grouped into six domains: Nature of God and Revelation, Salvation, Church, Sacraments and Worship, Tradition and Scripture, and Anthropology and Eschatology. The prompts were submitted repeatedly to the most well known seven public LLM services: ChatGPT, Claude, DeepSeek, Gemini, Grok, Kimi, and Qwen. From 413 textual records, 4384 usable LLM service-prompt-outcome units were segmented and coded. The analysis distinguishes confession-preserving reconciliation from confessional flattening, non-Orthodox Christian displacement, and invalid or non-substantive answers, while also recording the dominant mode of justification. Coding was conducted according to a predefined scheme, with conservative rules for ambiguous cases and subsequent consistency checking. The results suggest that reconciliation prompts rarely produce explicit refusal. Instead, the dominant pattern is over-reconciliation: services frequently convert doctrinal opposition into semantic levels, complementary perspectives, ethical common ground, or pseudo-formal compromise resembling Nash arbitration, a cooperative bargaining model from game theory. Confession-preserving reconciliation appears most clearly in prompts concerning Tradition, Scripture, sacraments, and ecclesial authority, while confessional flattening is strongest in questions concerning Christology, revelation, personhood, and eschatology. The main finding is that theological bias in reconciliation settings does not primarily appear as open hostility toward Orthodox Christian categories, but as excessive irenicism: the service preserves the appearance of dialogue while weakening the confessional asymmetry of the question.

Keywords: large language models, theological bias, prompt-based analysis, Nash arbitration, qualitative coding.

ФИЗИКА
PHYSICS

Фонони у савременој науци материјала

*Игор Мандић¹, Душан И. Илић², Стево К. Јаћимовски³
и Јован П. Шетрајчић^{4*}*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија

³ Криминалистичко полицијски универзитет, Земун – Београд, Србија

⁴ Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* jovan.setrajcic@gmail.com

У раду је представљена квантна природа механичког осциловања – фонона у оквиру резултата класичне теоријске физике, а на примеру спрегнутих једнодимензионих (1d) осцилатора прорачуном својствених фреквенција и/или енергија код анализе нормалних мода осциловања. После тога ова анализа је искоришћена и примењена на прорачун спектра могућих вредности фононских енергија у моделу идеалног неограниченог кристалног ланца. На крају рада је дат кратак преглед истражених савремених модела: ултратанких филмова (квази 2d кристалних структура), нано-жица (квази 1d кристалних структура) и квантних тачака (квази 0d кристалних структура).

Кључне речи: фонони, енергетски спектри и стања, спрегнути осцилатори, кристални ланци, танки филмови, наножице, квантне тачке.

Phonons in Contemporary Materials Science

Igor Mandić¹, Dušan I. Ilić², Stevo K. Jaćimovski³ and Jovan P. Šetrajčić^{4}*

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

³ University of Criminal Investigation and Police Studies, Zemun – Belgrade, Serbia

⁴ Academy of Sciences and Arts of the Republic Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* jovan.setrajcic@gmail.com

The paper presents the quantum nature of mechanical oscillation – phonon within the results of classical theoretical physics, and on the example of coupled one-dimensional (1d) oscillators by calculating the natural frequencies and/or energies in the analysis of normal modes of oscillation. After that, this analysis was used and applied to the calculation of the spectrum of possible values of phonon energies in the model of an ideal unbounded crystal chain. At the end of the paper, a brief overview of the researched modern models is given: ultrathin films (quasi 2d crystal structures), nano-wires (quasi 1d crystal structures) quantum dots (quasi 0d crystal structures).

Keywords: phonons, energy spectra and states, coupled oscillators, crystal chains, thin films, nanowires, quantum dots.

Енергетски зависан прелаз у структури двочестичних корелација гама-бљескова забиљежених телескопом Fermi Large Area Telescope

Оља Ђорђевић^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република
Српска, Босна и Херцеговина

* olja.djordjic@pmf.unibl.org

Представљамо анализу двочестичних корелација гама-ерупција (GRB) користећи дио података о фотонима високих енергија из каталога Fermi-LAT (Large Area Telescope), са фокусом на подручје емисије у GeV енергетском опсегу. Конструисањем заједничких временских (Δt) и енергетских (ΔE) корелационих функција за узорке одабране према енергији активационог (trigger) фотона, истражујемо унутрашњу организацију високенергетске емисије GRB-ова изван стандардне брзе фазе у keV–MeV подручју. Уочавамо изразиту реорганизацију корелационих образаца при GeV енергијама. Временска структура показује постепено потискивање централне (*core*) емисије у односу на проширене (*side*) доприносе, што доводи до систематског пораста односа проширене и централне компоненте са растом енергије активационог фотона. Истовремено, енергетска корелациона функција показује значајно проширење структура на блиској страни (*near-side*), заједно са статистички значајним порастом корелација при великим вриједностима ΔE , што указује на повећану енергетску декорелацију при вишим енергијама фотона. Најзначајније је то што компонента на супротној страни (*away-side*), која је при нижим енергијама подређена, улази у режим мјерљивог пораста и приноса и ширине, што сугерише појаву квалитативно другачије корелационе структуре у граници високих енергија. Ови комбиновани ефекти указују на прелаз са компактних, снажно корелираних образаца емисије при нижим енергијама ка расподијељенијој корелационој топологији у GeV подручју. Добијени резултати представљају доказ да фотони највиших енергија из гама-ерупција испитују посебан режим емисије карактерисан реорганизованим временско-енергетским корелацијама, што је у складу са прелазом у основној динамици емисије или простирања зрачења. Технике двочестичних корелација на тај начин откривају тренутно неразријешену структурну промјену у високенергетској емисији GRB-ова и пружају ново ограничење на вишеструку природу релативистичких протока материје. Идентификујемо прелаз од компактних ка расподијељеним корелационим структурама за фотоне из гама-ерупција при GeV енергијама, чиме се указује на постојање посебног високенергетског режима емисије.

Кључне ријечи: двочестичне корелације, подаци из Fermi-LAT каталога, временска структура, енергетска корелациона функција.

Energy-Dependent Transition in Two-Particle Correlation Structure of Fermi Large Area Telescope Gamma-Ray Bursts

Olja Đorđić^{1}*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* olja.djordjic@pmf.unibl.org

We present a two-particle correlation analysis of gamma-ray bursts (GRBs) using a part of high-energy photon data from the Fermi-LAT (Large Area Telescope) catalog, focusing on the GeV emission range. By constructing joint temporal (Δt) and spectral (ΔE) correlation functions in trigger-energy-selected samples, we probe the internal organization of high-energy GRB emission beyond the canonical keV–MeV prompt phase. We observe a distinct restructuring of correlation patterns at GeV energies. The temporal structure exhibits a progressive suppression of compact (core) emission relative to extended (side) contributions, leading to a systematic increase in the side-to-core ratio with trigger energy. In parallel, the spectral correlation function shows a strong broadening of near-side structures together with a statistically significant enhancement of large- ΔE correlations, indicating increased energy de-correlation at higher photon energies. Most notably, the away-side component—subdominant at lower energies—enters a regime of measurable growth in both yield and width, suggesting the emergence of a qualitatively different correlation structure in the high-energy limit. These combined effects indicate a transition from compact, tightly correlated emission patterns at lower energies to a more distributed correlation topology in the GeV regime. These results provide evidence that the highest-energy photons in GRBs probe a distinct emission regime characterized by reorganized temporal–spectral correlations, consistent with a transition in the underlying emission or propagation dynamics. Two-particle correlation techniques thus reveal a previously unresolved structural change in GRB high-energy emission, offering a new constraint on the multi-scale nature of relativistic outflows. We identify a transition from compact to distributed correlation structures in GRB emission at GeV energies, revealing a distinct high-energy emission regime.

Keywords: two-particle correlation, data from the Fermi-LAT catalog, temporal structure, spectral correlation function.

Зависност Фуријеових коефицијената од величине система и мултиплицитета у рр и рРb сударима

Оља Ђорђевић^{1*}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* olja.djordjic@pmf.unibl.org

У овом раду извршена је Фуријеова декомпозиција двочестичних азимуталних корелација у рр сударима при $\sqrt{s} = 7$ TeV и рРb сударима при $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ TeV, након експлицитног одузимања диполне ($n = 1$) компоненте повезане са не-flow корелацијама, првенствено корелацијама насталим услед млазова (јетова). Анализа користи поступак глобалног заглађивања ради издвајања дугодометне корелационе структуре прије хармонијског фитовања. У рр сударима при $\sqrt{s} = 7$ TeV, издвојени Фуријеови коефицијенти V_1 и V_2 показују нетривијалну зависност од мултиплицитета догађаја, при чему оба коефицијента имају појачане вриједности у класи са највишим мултиплицитетом, након чега слиједи постепена промјена према класама са нижим мултиплицитетом. Диполни коефицијент V_1 је позитиван и по величини упоредив са коефицијентом V_3 , што је у складу са доминантним доприносима повратних ефеката услед очувања импулса и корелација изазваних млазовима. Хармоници вишег реда (V_3 , V_4 и V_5) остају мали и показују само слабу зависност од мултиплицитета, што указује на одсуство израженог колективног одговора за ове више Фуријеове хармонике у рр сударима. Насупрот томе, рРb судари при $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ TeV показују јасну зависност коефицијента V_2 од мултиплицитета, при чему његова вриједност расте са порастом мултиплицитета догађаја. У оквиру примијењене анализе, издвојени диполни коефицијент V_1 има негативан предзнак за све класе мултиплицитета, док његова апсолутна вриједност показује сличну зависност као и V_3 . Овакво понашање сугерише да након одузимања не-flow доприноса преостали диполни члан није доминантно одређен корелацијама повезанима са млазовима и повратним ефектима, већ одражава заосталу дугодометну компоненту која показује сличне систематске особине као хармоници вишег реда. У рр сударима уочено понашање је у складу са корелацијама којима доминирају не-flow ефекти, док у рРb сударима преостала дугодометна структура показује карактеристике које су више у складу са колективном динамиком система. Уочена сличност скалирања између V_1 и V_3 у рРb сударима указује на могуће заједничко поријекло ових компоненти, потенцијално повезано са флуктуацијама геометрије почетног стања и накнадним одговором створеног медијума. Међутим, апсолутни предзнак коефицијента V_1 зависи од детаља поступка одузимања и Фуријеове декомпозиције те га треба тумачити искључиво у оквиру примијењене методологије.

Кључне ријечи: двочестичне корелације, Фуријеови коефицијенти, рр судари, рРb судари, зависност од мултиплицитета.

System-Size and Multiplicity Dependence of Fourier Coefficients in pp and pPb Collisions

Olja Dordić^{1*}

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* olja.djordjic@pmf.unibl.org

We perform a Fourier decomposition of two-particle azimuthal correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV and pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, after explicit subtraction of the dipole ($n = 1$) component associated with non-flow correlations, primarily jet-like contributions. The analysis employs a global smoothing procedure to isolate the long-range correlation structure prior to harmonic fitting. In pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, the extracted Fourier coefficients V_1 and V_2 exhibit a non-trivial dependence on event multiplicity, with both showing an enhancement in the lowest multiplicity bin followed by a gradual evolution toward higher multiplicity classes. The dipole coefficient V_1 is found to be positive and comparable in magnitude to V_3 , consistent with dominant contributions from recoil effects arising from momentum conservation and jet-induced correlations. Higher-order harmonics (V_3 , V_4 , and V_5) remain small and display only a weak dependence on multiplicity, indicating the absence of a strong collective response for these higher order Fourier harmonics in pp collisions. In contrast, pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV show a clear multiplicity dependence of V_2 , which increases toward higher multiplicity classes. The extracted dipole coefficient V_1 is found to be negative across all multiplicity classes within the present analysis framework, with a magnitude that scales similarly to V_3 . This suggests that, after non-flow subtraction, the residual dipole term is not dominated by recoil-driven jet correlations, but instead reflects a remaining long-range component exhibiting similar systematics to higher-order harmonics. In pp collisions, the observed behavior is consistent with correlations dominated by non-flow effects, while in pPb collisions the residual long-range structure exhibits feature more consistent with collective dynamics. The observed scaling between V_1 and V_3 in pPb suggests a common underlying origin, potentially related to initial-state geometry fluctuations and their subsequent medium response. However, the absolute sign of V_1 depends on the details of the subtraction and decomposition procedure and should be interpreted within that framework.

Keywords: two-particle correlations, Fourier coefficients, pp collisions, pPb collisions, multiplicity dependence.

Преглед ефективних пресјека за расијање електрона у гасовима стаклене баште

Сњежана Дупљанин^{1}, Оливера Шашић², Зоран Љ. Петровић³
и Драгољуб Мирјанић⁴*

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Београд, Србија

³ Српска академија наука и умјетности, Београд, Србија

⁴ Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* snjezana.dupljanin@pmf.unibl.org

Овај рад представља систематичан преглед података о ефективним пресјецима за расијање електрона на молекулима неколико кључних гасова који директно или индиректно доприносе ефекту стаклене баште. У контексту све израженијих климатских промјена, разумијевање интеракција на микроскопском нивоу постаје значајно за прецизно моделовање процеса који се дешавају у атмосфери Земље као и за избор гасова за неке од технологија код којих је могуће испуштање гасова у атмосферу. Поред доминантних атмосферских гасова са ефектом стаклене баште, као што су угљен-диоксид (CO_2), угљен-моноксид (CO), метан (CH_4) и азот-субоксид (N_2O), посебна пажња посвећена је групи антропогених хидрофлуороугљоводоника (HFC). Унутар ове групе, детаљно је анализиран молекул 1,1,1,2-тетрафлуороетан ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$), често означаваан као R134a, који је деценијама служио као примарни расхладни флуид у индустрији, али чији је утицај на глобално загријавање забрињавајући. С обзиром на то да потенцијал глобалног загријавања (GWP) за молекул $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ износи 1430, неопходно је детаљно испитати његово понашање у плазми и горњим слојевима атмосфере. Анализирани су и упоређени ефективни пресјеции за еластично расијање као и пресјеции за електронске и вибрационе ексцитације који су кључни за енергијски биланс у нискотемпературним плазмама. Посебан акценат стављен је на процесе јонизације и дисоцијативног електронског захвата, који директно утичу на хемијску трансформацију молекула у атмосфери и деградацију ових једињења. Анализирани су резултати добијени директним експерименталним мјерењима (попут техника са укрштеним сноповима), теоријски модели засновани на квантно-механичким прорачунима, те резултати изведени индиректно, примјеном методе електронских ројева кроз анализу транспортних коефицијената. Истраживање указује да постоје одређена неслагања у доступним базама података, чиме се поставља основа за будућа истраживања у физици сударних процеса и еколошком инжињерингу, са циљем проналаска адекватних замјена за гасове са високим GWP фактором. Поред $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ презентираћемо податке и за друге угљоводонике који су добијени методом ројева.

Кључне ријечи: ефективни пресјеции, расијање електрона, гасови стаклене баште.

Review of Electron Scattering Cross Sections in Greenhouse Gases

Snježana Dupljanin^{1}, Olivera Šašić², Zoran Lj Petrović³ and Dragoljub Mirjanić⁴*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia

³ Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia

⁴ Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* snjezana.dupljanin@pmf.unibl.org

This paper presents a systematic review of electron scattering cross-section data for several key gases that directly or indirectly contribute to the greenhouse effect. In the context of increasingly prominent climate change, understanding interactions at the microscopic level has become significant for precise modeling of processes occurring within the Earth's atmosphere, as well as for the selection of gases for technologies with a potential risk of atmospheric emissions. In addition to the dominant atmospheric greenhouse gases, such as carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O), particular attention is paid to the group of anthropogenic hydrofluorocarbons (HFCs). Within this group, the 1,1,1,2-tetrafluoroethane (C₂H₂F₄) molecule, often designated as R134a, is analyzed in detail; while it has served for decades as a primary refrigerant in the industry, its impact on global warming is concerning. Given that its Global Warming Potential (GWP) is 1430, it is essential to thoroughly examine its behavior in plasma and the upper layers of the atmosphere. Cross sections for elastic scattering, as well as cross sections for electronic and vibrational excitations that are crucial for the energy balance in low-temperature plasmas are analyzed and compared. Special emphasis is placed on ionization processes and dissociative electron attachment, which directly influence the chemical transformation of that molecule in the atmosphere and its degradation. Results obtained through direct experimental measurements (such as crossed-beam techniques), theoretical models based on quantum mechanical calculations, and results derived indirectly using the electron swarm method through the analysis of transport coefficients are analyzed. The research indicates certain discrepancies within the available databases, thereby establishing a foundation for future research in collision physics and environmental engineering, aiming to identify adequate replacements for gases with high GWP factors. In addition to C₂H₂F₄ we will review data for other hydrocarbons obtained by the swarm technique.

Keywords: cross sections, electron scattering, greenhouse gases.

Тополошке фазне промјене у деформисаним угљеничним нанотубама

Сандра Торбица^{1*} и Зоран П. Поповић²

¹ Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Београду, Физички факултет, Београд, Србија

* sandra.torbica@etf.unibl.org

Испитиване су тополошке фазне промјене полупроводних угљеничних нанотуба, услед механичких деформација. Угљеничне нанотубе представљају погодан модел за проучавање електронских својстава и тополошких фаза једнодимензионих система, при чему механичке деформације омогућавају континуалну контролу њихове електронске структуре. Разматране су само хомогене деформације, с обзиром на то да не доводе до нарушења укупне симетрије нанотубе, те представљају адијабатске (споро мијењајуће) процесе. Анализиран је утицај торзионе деформације, подужне и угаоне димеризације на електронску структуру угљеничних нанотуба. Посматран је сет од 30 нанотуба и за рачунање њихових електронских зона кориштен је „POLSym“ код, те је за сваку поједину тубу (n_1, n_2) из сета праћена промјена структуре зоне услед деформације. Уочено је да за одређени интензитет деформације долази до тополошког фазног прелаза приликом затварања енергетског гепа зона истог аугуларног квантног броја. Највише попуњено и најниже непопуњено стање постају скоро дегенерисани, приближавају се до тачке затварања гепа, у складу са правилом непресијецања. У циљу тополошке интерпретације добијених резултата, разматран је аналогни једнодимензиони модел типа SSH (Su-Schrieffer-Heeger). У оквиру овог модела, Хамилтонијан се може изразити преко вектора $d(k)$, чији обилазак око сингуларне тачке (тачке гдје долази до приближавања зона) дефинише „winding“ број као тополошки инваријант. Показано је да затварање гепа одговара промјени „winding“ броја, чиме се потврђује тополошка природа фазног прелаза. Аналогно понашање уочено је и код деформисаних угљеничних нанотуба посматраних у овом сету, што указује на еквивалентност између ова два система. Разматрано је и да ли приликом изједначавања удаљености појединих атома од представника орбите (атома C_{000}), еквивалентно SSH моделу и изједначавању хопинг параметара, долази до затварања енергетског процјепца. Посматрани су само атоми на удаљености до $4\text{\AA}$ од представника орбите. У случају торзионе деформације, од укупног сета, ово понашање је уочено код 5 нанотуба, за угаону димеризацију код 12, а за подужну код 8 нанотуба, при чему се код неких нанотуба јавља више пута, за различите степене деформације. За подужну димеризацију је уочено изједначавање удаљености првих сусједа представника орбите, на удаљености нешто већој од $1\text{\AA}$. Добијени резултати указују да механичке деформације могу служити као ефикасан механизам за контролу електронских и тополошких својстава угљеничних нанотуба, те омогућавају директно повезивање микроскопских параметара система са његовим тополошким карактеристикама.

Кључне ријечи: тополошки фазни прелази, угљеничне нанотубе, механичке деформације, затварање енергетског гепа, „winding“ број.

Topological Phase Transitions in Deformed Carbon Nanotubes

Sandra Torbica^{1} and Zoran P. Popović²*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Electrical Engineering, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² University of Belgrade, Faculty of Physics, Belgrade, Serbia

* sandra.torbica@etf.unibl.org

Topological phase transitions in semiconducting carbon nanotubes induced by mechanical deformations are investigated. Carbon nanotubes represent a suitable model for studying electronic properties and topological phases of one-dimensional systems, where mechanical deformations enable continuous control of their electronic structure. Only homogeneous deformations are considered, as they do not break the overall symmetry of the nanotube and represent adiabatic (slowly varying) processes. The influence of torsional deformation, longitudinal and angular dimerization on the electronic structure of carbon nanotubes is analyzed. A set of 30 nanotubes is considered, and the “POLSym” code is used to calculate their electronic band structures. For each individual nanotube (n_1, n_2) from the set, the evolution of the band structure under deformation is analyzed. It is observed that, for a certain deformation, a topological phase transition occurs upon the closing of the band gap between bands with the same angular quantum number. The highest occupied and lowest unoccupied states approach each other up to the gap-closing point, while their behavior is constrained by the non-crossing rule. For the topological interpretation of the obtained results, an analogous one-dimensional SSH (Su–Schrieffer–Heeger) model is considered. Within this model, the Hamiltonian can be expressed in terms of the vector $d(k)$, whose winding around a singular point (the gap-closing point) defines the winding number as a topological invariant. It is shown that the gap closing corresponds to a change in the winding number, confirming the topological nature of the phase transition. An analogous behavior is observed in the set of deformed carbon nanotubes, indicating an equivalence between the two systems. It is further examined whether the equalization of distances between certain atoms and the orbit representative (atom C_{000}), analogous to the SSH model and the equalization of hopping parameters, leads to the closing of the band gap. Only atoms within a distance of $4\text{\AA}$ from the orbit representative are considered. In the case of torsional deformation, this behavior is observed in 5 nanotubes from the set, for angular dimerization in 12, and for longitudinal dimerization in 8 nanotubes. In some nanotubes, it appears multiple times for different deformation strengths. For longitudinal dimerization, the equalization of distances between the nearest neighbors of the orbit representative is observed at a distance slightly larger than $1\text{\AA}$. The obtained results indicate that mechanical deformations can serve as an efficient mechanism for controlling the electronic and topological properties of carbon nanotubes, enabling a direct connection between microscopic system parameters and its topological characteristics.

Keywords: topological phase transition, carbon nanotubes, mechanical deformations, band gap, winding number.

Анализа соларне ирадијације и процјена производње електричне енергије: студија случаја на Природно-математичком факултету у Бањој Луци

Душанка Марчетић^{1*}, Бојан Ковачевић¹, Дијана Ђукић², Жељка Остојић¹ и Драгољуб Мирјанић³

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Бањој Луци, Машински факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

³ Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* dusanka.marcetic@pmf.unibl.org

У ери климатске кризе, обновљиви извори енергије омогућавају еколошки прихватљив и одржив начин производње електричне енергије. Напретком фотонапонских технологија, соларне електране различитих капацитета, у распону од малих система за домаћинства до великих соларних фарми, постале су широко распрострањене. Интегрисање соларних инсталација у постојећу инфраструктуру и, још важније, у фазу пројектовања нове градње може значајно побољшати искориштење соларне енергије. Ова студија истиче предности симулационих алата у прецизном моделовању и планирању соларних инсталација. Рад представља детаљну анализу дугорочне соларне ирадијације на локацији Природно-математичког факултета у Бањој Луци, уз процјену производње електричне енергије из соларних модула инсталираних на крову зграде. Анализа је изведена примјеном Фотонапонског географског информационог система (*Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS*), који служи као бесплатна интернет база података и алат за прорачун могућности коришћења соларне енергије. Да би се потврдила досљедност између теоријских процјена и емпиријских података, параметри симулације (укључујући технологију хелија, угао нагиба панела, азимут и инсталисани капацитет) одабрани су тако да прецизно одговарају спецификацијама стварне соларне електране пуштене у рад 12. марта 2026. године. Објекат има укупни номинални инсталисани капацитет од 19,8 kW. Соларни панели су монтирани на кров, слиједећи нагиб крова од 30°. Двије трећине модула оријентисано је под азимутом од 37° југозападно, док је преостала трећина усмјерена ка -53° југоисточно. На основу метеоролошких података прикупљених у периоду од скоро двадесет година, студија представља просјечну температуру, однос просјечне дифузне и глобалне ирадијације, као и просјечне мјесечне и годишње вриједности глобалне ирадијације израчунате за фиксни нагибни угао инсталације од 30° и теоријски оптимални угао од 36°. Коначно, дате су процјене производње електричне енергије по мјесецима и на годишњем нивоу, за инсталисани капацитет система. Процијењено је да би годишња производња за специфичну конфигурацију инсталисане електране износила приближно 21,4 MWh. За шестомјесечни период, од јуна до новембра, процјена износи 12,3 MWh. Оптимизација оријентације и угла нагиба повећава процијењени принос за око 5% у поређењу са вриједностима добијеним са параметрима стварне конфигурације. То маргинално повећање указује да је мало одступање нагиба крова од оптималног нагиба готово безначајно, те да је пројекат генерално добро дизајниран са добро одабраним азимутом. Након што систем буде у погону довољно дуго да се добију

поуздани подаци, направиће се поређење мјерних података и резултата симулације. Анализом ће се провјерити тачност PVGIS предвиђања наспрам података прикупљених у реалним условима рада ове конкретне студије случаја. У коначници, ова студија тежи да допринесе широј примјени симулационих алата за процјену, оптимизацију и побољшање перформанси будућих соларних инсталација.

Кључне ријечи: соларна енергија, производња електричне енергије, симулација, валидација.

Analysis of Solar Irradiation and Assessment of Electrical Energy Production: A Case Study at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics in Banja Luka

Duška Marčetić^{1*}, Bojan Kovačević¹, Dijana Đukić², Željka Ostojić¹ and Dragoljub Mirjanić³

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

³ Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* dusanka.marcetic@pmf.unibl.org

In the era of climate crisis, renewable energy resources provide a clean and sustainable path for electric energy production. With the advancements in photovoltaic technologies, solar power plants of various scales, ranging from small household systems to large-scale solar farms, have become widely deployed. Incorporation of solar installations into existing infrastructure, and more crucially, into the design phase of new construction, can significantly improve solar energy utilization. This study highlights the advantages of simulation tools for accurate modeling and planning of solar installations. The study presents a detailed analysis of long-term solar irradiation at the location of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics in Banja Luka and an estimate of the electrical energy generation from solar modules installed on the roof of the building. The analysis was conducted using the Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), which serves as a free web-based database and calculation tool for solar energy exploitation. To validate the consistency between theoretical estimates and empirical data, simulation parameters – including cell technology, tilt angle, azimuth, and installed capacity – were selected to precisely match the specifications of the actual solar power plant commissioned on March 12, 2026. The facility has a total nominal capacity of 19.8 kW. Solar modules are mounted on the roof, following the roof inclination of 30°. Two-thirds of the modules are oriented at a 37° southwest azimuth, while the remaining third is directed toward -53° southeast. Based on meteorological data that has been collected over a nearly twenty-year period, the study presents an average temperature, average monthly diffuse to global irradiation ratio as well as average monthly and annual global irradiation values calculated at the fixed installation tilt angle of 30° and the theoretical optimum angle of 36°. Finally, it provides estimates for monthly and annual electrical energy output for the system's installed capacity. It is estimated that the annual production for the specific configuration of installed power plant

is approximately 21.4 MWh. For a half-year period, from June to November, the estimate is 12.3 MWh. Optimization of the orientation and tilt angle increases the estimated annual yield by about 5% compared to the values obtained with system's configuration parameters. This marginal increment indicates that the slight deviation of the roof inclination from the optimum value is almost insignificant and that the project is generally well designed with the well-chosen azimuth. After the system has been operational long enough to obtain representative datasets, a comparison between simulated and measured performance data will be conducted. This analysis will validate the precision of PVGIS predictions against data collected under real operating conditions in this particular case. Ultimately, this study aims to make a contribution to the widespread application of simulation tools for estimating, optimizing and improving the performance of future solar installations.

Keywords: solar energy, electric power generation, simulation, validation.

Природни радионуклиди (U^{234} , U^{238} и Ra^{226}) у води за пиће, ријечним и приобалним водама у Босни и Херцеговини (2022–2025)

Зорана Илић^{1}, Алфред Видиц¹, Ирма Дидовић¹ и
Дин Авдиспахић¹*

¹ Завод за јавно здравство ФБиХ, Служба за заштиту од зрачења, Сарајево,
Босна и Херцеговина

* z.ilic@zzjzfbih.ba

Природни радионуклиди у воденим срединама представљају значајну компоненту радиоактивности животне средине и доприносе унутрашњем озрачивању људи првенствено путем уноса воде за пиће. Међу њима, изотопи уранијума (^{238}U и ^{234}U) и радијум-226 (^{226}Ra) од посебног су значаја због своје радиотоксичности, дугог времена полураспада и геохемијске покретљивости у природним воденим системима. Циљ овог истраживања био је да се одреде концентрације активности ^{238}U , ^{234}U и ^{226}Ra у различитим воденим системима у Босни и Херцеговини – води за пиће, ријечним водама (ријеке Босна и Неретва) и приобалној морској води (Неум, Јадранско море) – те да се процијени њихова просторна и временска варијабилност у периоду 2022–2025. године. Поред тога, анализирани су и односи активности $^{234}U/^{238}U$ као показатељи геохемијских процеса и природне радиоактивне неравнотеже. Укупно су прикупљена 63 узорка (40 узорака воде за пиће, 16 узорака ријечне воде и 7 узорака морске воде), узоркованих два пута годишње, а анализе су извршене примјеном радиохемијског раздвајања и алфа-спектрометријом. Аналитички квалитет контролисан је стандардизованим процедурама како би се обезбиједила поузданост и поновљивост резултата. За карактеризацију варијабилности унутар и између испитиваних водених система коришћени су дескриптивни статистички параметри (средња вриједност, стандардна девијација и распон). Резултати су показали јасне разлике у расподјели радионуклида између различитих типова вода. Вода за пиће показала је умјерене концентрације активности, са средњим вриједностима од 4,70 mBq/L за ^{238}U , 6,64 mBq/L за ^{234}U и 1,862 mBq/L за ^{226}Ra . Ријечне воде су углавном

показале ниже нивое активности, али већу релативну варијабилност, што одражава утицај локалне геологије и хидролошких услова. Очекивано, морска вода садржавала је значајно више концентрације активности уранијума (40,05 mBq/L за ^{238}U и 45,09 mBq/L за ^{234}U), уз малу варијабилност, што је у складу са конзервативним понашањем уранијума и ефикасним мијешањем у морској средини. Насупрот томе, ^{226}Ra је показивао изражену просторну хетерогеност, посебно у слатководним системима, што указује на снажан утицај интеракције вода–стијена и локалних геохемијских услова. Односи активности $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ били су досљедно већи од јединице у свим типовима вода (1,59 у води за пиће, 1,62 у ријечној води и 1,13 у морској води), што потврђује постојање природне радиоактивне неравнотеже и израженију мобилизацију ^{234}U у слатководним срединама. У цјелини посматрано, расподела радионуклида првенствено је условљена природним хидрогеохемијским процесима, без доказа о антропогеном загађењу или радиолошким аномалијама. Добијени резултати доприносе бољем разумијевању понашања радионуклида у различитим хидрогеолошким условима и успостављају референтну основу за праћење радиоактивности животне средине у Босни и Херцеговини. Овај скуп података представља вриједан оквир за будуће програме мониторинга, упоредна истраживања и дугорочне радиолошке процјене. Будућа истраживања требало би усмјерити на проширење просторног обухвата и укључивање додатних изотопских и геохемијских параметара ради бољег разумијевања механизма транспорта радионуклида.

Кључне ријечи: алфа-спектрометрија, радиохемијско раздвајање, изотопи уранијума, радијум-226, природне воде.

Natural radionuclides (U^{234} , U^{238} and Ra^{226}) in drinking, river and coastal waters in Bosnia and Herzegovina (2022–2025)

Zorana Ilić^{1}, Alfred Vidic¹, Irma Didović¹ and Din Avdispahić¹*

¹ Institute for Public Health FB&H, Radiation Protection Service, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

* z.ilic@zzjzfbih.ba

Natural radionuclides in aquatic environments constitute an important component of environmental radioactivity and contribute to internal human exposure primarily through the ingestion of drinking water. Among them, uranium isotopes (^{238}U and ^{234}U) and radium-226 (^{226}Ra) are of particular interest due to their radiotoxicity, long half-lives, and geochemical mobility in natural water systems. The aim of this study was to quantify the activity concentrations of ^{238}U , ^{234}U , and ^{226}Ra in different aquatic systems in Bosnia and Herzegovina—drinking water, river waters (Bosna and Neretva Rivers), and coastal seawater (Neum, Adriatic Sea)—and to assess their spatial and temporal variability over the period 2022–2025. In addition, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratios were evaluated as indicators of geochemical processes and natural radioactive disequilibrium. A total of 63 samples (40 drinking water, 16 river water, and 7 seawater samples) were collected on a semi-annual basis and analysed using radiochemical separation followed by alpha spectrometry. Analytical quality was controlled through standardised procedures to ensure the reliability and reproducibility of the results. Descriptive statistical parameters (mean,

standard deviation, and range) were used to characterise variability within and between the investigated water systems. The results revealed clear differences in radionuclide distribution among water types. Drinking water showed moderate activity concentrations, with mean values of 4.70 mBq/L for ^{238}U , 6.64 mBq/L for ^{234}U , and 1.862 mBq/L for ^{226}Ra . River waters generally exhibited lower activity levels but higher relative variability, reflecting the influence of local geology and hydrological conditions. As expected, seawater contained significantly higher uranium activity concentrations (40.05 mBq/L for ^{238}U and 45.09 mBq/L for ^{234}U) with low variability, consistent with conservative behaviour and efficient mixing in the marine environment. In contrast, ^{226}Ra displayed pronounced spatial heterogeneity, particularly in freshwater systems, indicating strong control by water–rock interaction and site-specific geochemical conditions. Activity ratios of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ were consistently above unity across all water types (1.59 in drinking water, 1.62 in river water, and 1.13 in seawater), confirming natural radioactive disequilibrium and the preferential mobilisation of ^{234}U in freshwater environments. Overall, radionuclide distribution is primarily governed by natural hydrogeochemical processes, with no evidence of anthropogenic contamination or radiological anomalies. These findings improve the understanding of radionuclide behaviour in diverse hydrogeological settings and establish a reference baseline for environmental radioactivity in Bosnia and Herzegovina. The dataset provides a valuable framework for future monitoring programmes, comparative studies, and long-term radiological assessment. Further research should focus on expanding spatial coverage and integrating additional isotopic and geochemical parameters to better constrain radionuclide transport mechanisms.

Keywords: alpha spectrometry, radiochemical separation, uranium isotopes, radium-226, natural waters.

Радиоактивност каолинизованих гранита у Србији и Републици Српској

Предраг Кузмановић^{1}, Душан Мрђа² и Јована Кнежевић Радић²*

¹ Криминалистичко-полицијски универзитет, Департман форензичког инжењерства, Земун, Београд, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за физику, Нови Сад, Србија

* predrag.kuzmanovic@df.uns.ac.rs

У раду је приказана компаративна анализа природне радиоактивности каолинизованих гранита из Србије и Републике Српске са циљем процене њихове погодности као сировине у керамичкој индустрији. Анализирано је укупно 23 узорка са лежишта Бели Мајдан код Лознице (Србија) и 100 узорака са лежишта Башића баре код Босанског Кобаша (Република Српска), применом нискофонске гама-спектрометрије. Одређене су концентрације активности природних радионуклида (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K), као и гама индекси и годишње ефективне дозе значајни за процену спољашње изложености зрачењу. За узорке из Републике Српске добијени су распони активности од 76–200 Bq kg⁻¹ за ^{226}Ra , 44–156 Bq kg⁻¹ за ^{232}Th и 820–1390 Bq kg⁻¹ за ^{40}K , при чему су средње вредности изнад светског просека за грађевинске материјале. Насупрот томе, узорци из Србије показују

ниже вредности за ^{226}Ra (18.8–67.3 Bq kg⁻¹) и ^{232}Th (28.7–46.7 Bq kg⁻¹), док су вредности за ^{40}K (906–1395 Bq kg⁻¹). Упоредна анализа указује да су просечне активности ^{226}Ra и ^{232}Th у каолинизованим гранитима из Републике Српске приближно 2–3 пута веће у односу на узорке из Србије, док су вредности ^{40}K упоредиве. Ове разлике могу се довести у везу са различитим геолошким условима формирања лежишта. Хијерархијска кластер анализа (HCA) за узорке из Републике Српске издвојила је две главне групе, што указује на постојање различитог (магматског и хидротермалног) порекла материјала. И поред повишених вредности ^{226}Ra и ^{232}Th у узорцима из Републике Српске, процењене годишње ефективне дозе за спољашњу изложеност у свим случајевима су испод 1 mSv год⁻¹, што указује да не постоји значајан радиолошки ризик при руковању овим материјалом нити при његовој примени у грађевинарству. Добијени резултати потврђују да каолинизовани гранит из обе области представља радиолошки безбедну и технолошки прихватљиву силовину за производњу керамичких композита, са потенцијалом да замени фелдспат.

Кључне речи: каолинизовани гранит, природна радиоактивност, гама-спектрометрија, радионуклиди (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), радиолошки ризик.

Radioactivity of Kaolinized Granite in Serbia and the Republic of Srpska

Predrag Kuzmanović^{1}, Dušan Mrđa² and Jovana Knežević Radić²*

¹ University of Criminal Investigation and Police Studies, Department of Forensic Engineering, Zemun, Belgrade, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Novi Sad, Serbia

* predrag.kuzmanovic@df.uns.ac.rs

This paper presents a comparative analysis of the natural radioactivity of kaolinized granites from Serbia and the Republic of Srpska, aimed at evaluating their suitability as raw materials in the ceramic industry. A total of 23 samples from the Beli Majdan deposit near Loznica (Serbia) and 100 samples from the Bašića Bare deposit near Bosanski Kobaš (Republic of Srpska) were analyzed using low-background gamma spectrometry. The activity concentrations of natural radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K), as well as gamma indices and annual effective doses relevant for the assessment of external radiation exposure, were determined. For samples from the Republic of Srpska, activity ranges of 76–200 Bq kg⁻¹ for ^{226}Ra , 44–156 Bq kg⁻¹ for ^{232}Th , and 820–1390 Bq kg⁻¹ for ^{40}K were obtained, with average values above the world reference levels for building materials. In contrast, samples from Serbia show lower values for ^{226}Ra (18.8–67.3 Bq kg⁻¹) and ^{232}Th (28.7–46.7 Bq kg⁻¹), while ^{40}K values (906–1395 Bq kg⁻¹) are comparable. Comparative analysis indicates that the average activities of ^{226}Ra and ^{232}Th in kaolinized granites from the Republic of Srpska are approximately 2–3 times higher than those from Serbia, while ^{40}K levels are comparable. These differences can be attributed to distinct geological conditions of formation of the deposits. Hierarchical cluster analysis (HCA) of samples from the Republic of Srpska identified two main groups, indicating different origins of the material (magmatic and hydrothermal). Despite elevated levels of ^{226}Ra and ^{232}Th in samples from the Republic of Srpska, the estimated annual effective doses for external exposure in all cases are below 1 mSv y⁻¹, indicating no significant radiological risk during handling or industrial application. The

obtained results confirm that kaolinized granite from both regions represents a radiologically safe and technologically suitable raw material for the production of ceramic composites, with potential to partially or fully replace feldspar.

Keywords: kaolinized granite, natural radioactivity, gamma spectrometry, radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), radiological risk.

Значај експеримента у настави физике: анализа ставова ученика и ефеката практичног рада

Драгана Маливук Гак^{1}, Сњежана Дупљанин¹, Бојан Ковачевић¹
и Татјана Марић¹*

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република
Српска, Босна и Херцеговина

* dragana.malivuk-gak@pmf.unibl.org

Савремени образовни процес је још увијек у великој мјери заснован на традиционалним принципима, у којима наставник у највећем дијелу наставног процеса излаже садржаје, док су ученици често у улози посматрача са смањеним нивоом ангажовања у процесу учења. Стратегија развоја васпитно-образовног система Републике Српске (2022–2030), наглашава потребу за активнијом улогом ученика и примјеном савремених наставних метода, међу којима експериментални рад заузима значајно мјесто. У складу с тим проведено је истраживање са циљем испитивања ставова ученика основне школе о заступљености и значају експерименталног рада у настави физике, као и утврђивање да ли експериментални приступ доприноси лакшем разумијевању градива и већој мотивацији за учење. Истраживање је спроведено међу 199 ученика седмог, осмог и деветог разреда, у оквиру пројекта „Мала школа физике“, унутар којег су ученици попуњавали улазне и излазне анкете са пажљиво одабраним питањима. Улазном анкетом су испитани ставови ученика о настави физике у њиховим школама, заступљености експеримената и њиховим афинитетима за рад (индивидуални, рад у пару и групни рад). На самом крају радионица које су се састојале у изради експеримената који су прописани Наставним планом и програмом за одређени разред, спроведена је излазна анкета ради утврђивања промјена у ставовима ученика. Допринос истраживања огледа се у компаративној анализи ставова ученика прије и након експерименталног рада, што омогућава директан увид у ефекте практичних активности у реалном школском контексту. Резултати истраживања су показали да експериментални рад није довољно заступљен у редовној настави физике у основним школама. Ученици су исказали позитиван став према експерименталном раду, наводећи да им такав начин рада чини наставу занимљивијом и доприноси бољем разумијевању наставног садржаја. Такође, након експерименталних активности забиљежен је већи интерес ученика за рад у пару и групама. Добијени резултати потврђују значај експерименталног приступа у настави физике као средства за повећање мотивације и ефикасности учења, те би се постојећа наставна пракса могла значајно унаприједити кроз већу интеграцију експеримената и активних метода рада у

редовну наставу физике у основним школама.

Кључне ријечи: експериментални рад, настава физике, ставови ученика, мотивација.

The Importance of Experiments in Physics Teaching: Analysis of Students' Attitudes and the Effects of Practical Work

Dragana Malivuk Gak^{1}, Snježana Dupljanin¹, Bojan Kovačević¹ and Tatjana Marić¹*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* dragana.malivuk-gak@pmf.unibl.org

The contemporary educational process is still largely based on traditional principles, in which the teacher predominantly delivers content, while students often take on the role of passive observers with a reduced level of engagement in the learning process. The Development Strategy of the Education System of the Republic of Srpska (2022–2030) emphasizes the need for a more active role of students and the application of modern teaching methods, among which experimental work holds a significant place. In accordance with this, a study was conducted with the aim of examining primary school students' attitudes towards the representation and importance of experimental work in physics teaching, as well as determining whether an experimental approach contributes to easier understanding of the subject matter and increased motivation for learning. The study included 199 students from the seventh, eighth, and ninth grades, within the project “Small School of Physics”, where students completed pre- and post-surveys with carefully designed questions. The initial survey examined students' attitudes towards physics teaching in their schools, the presence of experiments, and their preferences for different forms of work (individual work, pair work, and group work). At the end of the workshops, which consisted of conducting experiments prescribed by the curriculum for specific grade levels, a final survey was administered to identify changes in students' attitudes. The contribution of the research lies in the comparative analysis of students' attitudes before and after the experimental work, providing direct insight into the effects of practical activities within a real school context. The results showed that experimental work is not sufficiently represented in regular physics teaching in primary schools. Students expressed positive attitudes towards experimental work, stating that this approach makes lessons more interesting and contributes to a better understanding of the content. Additionally, after participating in experimental activities, an increased interest in pair and group work was observed. The obtained results confirm the importance of the experimental approach in physics teaching as a means of increasing motivation and learning efficiency. The current teaching practice could be significantly improved through greater integration of experiments and active learning methods into regular physics classes in primary schools.

Keywords: experimental work, physics education, students' attitudes, motivation.

Улога ваннаставних STEAM активности у развоју интересовања ученика за природне науке

Стефан Ковачевић^{1*}, Слободан Срдић¹ и Милена Дамјановић¹

¹ ЈУ Медицинска школа Добој, Добој, Република Српска, Босна и Херцеговина

* stefan.kovacevic.ph@gmail.com

Настава природних наука у средњим школама у Републици Српској, по начину организације, заснива се на изучавању појединачних предмета, што може довести до фрагментисаног знања и смањеног интересовања ученика за физику, биологију и сродне дисциплине. У циљу превазилажења овог проблема, све већу пажњу привлачи STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*) приступ, који подстиче интеграцију знања, интердисциплинарно повезивање, практичан рад и креативност ученика. У Републици Српској, Републички педагошки завод Републике Српске већ дужи низ година организује лјетне и зимске кампове на републичком нивоу, док је од школске 2024/25. године уведен и модел прољећних кампова на регионалном нивоу, који се реализују у организацији самих школа у сарадњи са Републичким педагошким заводом Републике Српске, уз већу аутономију наставника у осмишљавању и извођењу радионица и активности. Наставници 50 средњих школа у Републици Српској, учесници пројекта ТАБЛА током школске 2021/22. године, прошли су обуку за примјену овог приступа у настави. У овом раду испитује се утицај ваннаставних STEAM активности, реализованих у форми школских прољећних кампова природних наука, на развој интересовања и ангажованости ученика. Циљ истраживања је утврдити у којој мјери овакве активности доприносе повећању мотивације ученика, бољем разумијевању градива и повезивању знања из различитих научних области. Методологија обухвата разговоре са ученицима прије и након учешћа у камповима, анализу њихове укључености у активности, као и квалитативно посматрање рада ученика током реализације експерименталних задатака; додатно, прикупљене су повратне информације предметних наставника о утицају учешћа на даље ангажовање ученика у редовној настави. Активности у оквиру кампова заснивале су се на практичном раду, с нагласком на физику, биологију и хемију, и укључивале су много тога, од једноставних експеримената, мјерења и истраживања, повезивања наставног програма са свакодневицом и освртом на мултимедијалне садржаје и друштвене мреже, уз ограничену примјену дигиталних алата за обраду и приказ података. Иако не искључиво, примарну циљну групу чинили су ученици завршних разреда основних школа, како због могућности благовремене евалуације и усмјеравања њихових интересовања, тако и због промоције средње школе и њених наставних програма. Резултати указују на значајно повећање интересовања ученика за природне науке, већу активност и ангажованост у настави, као и израженију способност повезивања теоријских знања са практичним примјенама. Ученици су показали развијеније критичко мишљење, постављали сврсисходна питања и исказали интересовање за могућности даљег образовања и професионалног бављења науком. Добијени налази потврђују да ваннаставне STEAM активности, посебно у форми тематских кампова, представљају ефикасан педагошки приступ који доприноси унапређењу наставе природних наука. Закључује се да овакви облици рада имају значајан потенцијал за ширу примјену, како у основном, тако и у средњошколском образовању, те се препоручује њихова чешћа интеграција у школску праксу, као и уврштавање у критеријуме награђивања ученика и наставника (ученик генерације, Светосавска на-

града и слично).

Кључне ријечи: STEAM приступ, мотивација ученика, природне науке, ваннаставне активности, прољећни кампови.

The Role of Extracurricular STEAM Activities in Developing Students' Interest in Natural Sciences

Stefan Kovačević^{1}, Slobodan Srdić¹ and Milena Damjanović¹*

¹ Public Institution Medical High School Doboj, Doboj, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

* stefan.kovacevic.ph@gmail.com

The teaching of natural sciences in secondary schools in the Republic of Srpska is, in terms of its organization, based on the study of individual subjects, which may lead to fragmented knowledge and reduced student interest in physics, biology, and related disciplines. In order to overcome this issue, the STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) approach is attracting increasing attention, as it promotes knowledge integration, interdisciplinary connections, practical work, and student creativity. In the Republic of Srpska, the Republic Pedagogical Institute of the Republic of Srpska has been organizing summer and winter camps at the republic level for many years, while since the 2024/25 school year a model of spring camps at the regional level has also been introduced. These are implemented by schools themselves in cooperation with the Republic Pedagogical Institute of the Republic of Srpska, with greater autonomy granted to teachers in designing and conducting workshops and activities. Teachers from 50 secondary schools in the Republic of Srpska, participants in the TABLA project during the 2021/22 school year, were trained to apply this approach in teaching. This paper examines the impact of extracurricular STEAM activities, implemented in the form of school spring science camps, on the development of students' interest and engagement. The aim of the research is to determine the extent to which such activities contribute to increased student motivation, better understanding of subject content, and the integration of knowledge from different scientific fields. The methodology includes interviews with students before and after participation in the camps, analysis of their involvement in activities, as well as qualitative observation of student work during the implementation of experimental tasks. Additionally, feedback from subject teachers was collected regarding the impact of participation on students' further engagement in regular classes. The camp activities were based on practical work, with an emphasis on physics, biology, and chemistry, and included a range of activities such as simple experiments, measurements, and investigations, connecting the curriculum with everyday life and contemporary media content, with limited use of digital tools for data processing and presentation. Although not exclusively, the primary target group consisted of students in the final grades of primary school, both due to the possibility of timely evaluation and guidance of their interests, as well as for the promotion of secondary schools and their curricula. The results indicate a significant increase in students' interest in natural sciences, greater activity and engagement in classes, as well as a more pronounced ability to connect theoretical knowledge with practical applications. The students demonstrated improved critical thinking, asked purposeful questions, and expressed interest in opportunities for further education and science.

tific careers. The findings confirm that extracurricular STEAM activities, especially in the form of thematic camps, represent an effective pedagogical approach that contributes to the improvement of science teaching. It is concluded that such forms of work have significant potential for wider application in both primary and secondary education, and their more frequent integration into school practice is recommended, as well as including participation in the criteria for student and teacher awards (Student of the Generation, Saint Sava Award, etc).

Keywords: STEAM approach, student motivation, natural sciences, extracurricular activities, spring camps.

Од модела кваркова до суперсиметрије – шта смо научили?

Александар Ђургуз^{1}*

¹ ЈУ ОШ „Георги Стојков Раковски“, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

* a.curguz2000@gmail.com

Симетрије су кључан концепт у многим областима физике, а нарочито у физици елементарних честица и квантној теорији поља. Хајзенбергов закључак о томе да јака интеракција не разликује протон и неутрон навео га је на то да ове двије честице класификује као два изоспинска стања једне честице – нуклеона. Овиме је створена полазна основа за флејворске симетрије на којима су засновани модели кваркова. Овај рад даје преглед најважнијих модела кваркова, истичући зашто су ти модели били успјешни иако су били засновани на приближним симетријама описаним $SU(N)$ (специјалним унитарним) групама. Дајемо кратко објашњење, често изостављено у уџбеницима, о томе зашто су $SU(N)$ групе погодне за опис флејворских симетрија. Као примјер модела кваркова, разматрамо спинско-флејворски $SU(6)$ модел, јер он представља природан наставак на успјешни $SU(3)$ модел, који је предложио Гел-Ман. Појашњавамо на који начин се конструишу укупне таласне функције бариона и мезона, поштујући Паулијев квантно-механички принцип искључења. Поред тога, образлажемо зашто смо приморани да кваркове различитих флејвора, који су у саставу бариона, третирамо као идентичне честице. На ово надовезујемо анализу мултиплета групе $SU(6)$ и појашњавамо зашто је за потпуно описивање неких од њих потребна проширена група симетрије, при чему наглашавамо да за постојање појединих немамо експерименталних доказа. Како бисмо теоријски оправдали то што ова стања нису експериментално уочена, користимо кварк-дикварк модел предложен од стране Лихтенберга. Експлицитно израчунавамо однос магнетних диполних момената протона и неутрона у оквиру $SU(6)$ модела и дајемо поређење са експерименталном вриједношћу ове величине. Потом износимо зашто је суштински немогуће конструисати потпуно релативистичку квантну теорију поља засновану на динамичким симетријама типа $SU(6)$, а да се притом не наруше основна ограничења просторно-временске коваријантности. Како бисмо објаснили ову немогућност, позивамо се на теорему Колмана и Мандуле. Објашњавамо на који начин нам формализам суперсиметрије омогућава да заобиђемо наведену теорему забране, наиме, на који начин нам омогућава нетривијално обједињавање просторно-временских и унутрашњих симетрија. Теорије као што су Стандардни модел и различити модели кваркова засновани су на обичним Лијевим алгебрама, док је суперсиметрија заснована

на градираним Лијевим супералгебрама. Рад завршавамо увођењем фундаменталних концепта суперсиметрије, наводећи експлицитно разлике између обичних Лијевих алгебра и градираних Лијевих супералгебра. Пратећи развој теорија од приближних флејворских симетрија до теореме Колмана и Мандуле, овај преглед разјашњава на који начин су ограничења модела кваркова довела до развоја формализма суперсиметрије. Као прегледни рад, пружа обједињен поглед на принципе симетрије и на основе физике даље од Стандардног модела.

Кључне ријечи: симетрије, модел кваркова, $SU(6)$, теорема Колмана и Мандуле, суперсиметрија.

From the Quark Model to Supersymmetry – What Did We Learn?

Aleksandar Ćurguz^{1*}

¹ Public Primary School “Georgi Stojkov Rakovski”, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H

* a.curguz2000@gmail.com

Symmetries are fundamental to many branches of physics, particularly particle physics and quantum field theory. Heisenberg’s realization that the strong interaction does not distinguish between the proton and neutron led him to classify these two particles as two different isospin states of one particle – the nucleon. This laid the foundation for the flavor symmetries upon which quark models were based. This paper gives an overview of major quark models, outlining why they were successful even though they were based on approximate symmetries described by the $SU(N)$ (special unitary) groups. We provide a brief explanation, often omitted in textbooks, of why $SU(N)$ groups are adequate for describing flavor symmetries. As an example of quark models, we examine the $SU(6)$ spin-flavor model, as it is a natural extension of the successful $SU(3)$ model presented by Gell-Mann. We explain the construction of total wave functions for baryons and mesons, satisfying the quantum mechanical Pauli exclusion principle. In addition to that, we clarify why we are forced to treat quarks of different flavors within baryons as identical particles. We build upon this with an analysis of the $SU(6)$ multiplets and explain why some of them require an extended symmetry group for a complete description while highlighting the lack of experimental confirmation of others. To theoretically justify the non-observation of these states, we employ the quark-diquark model proposed by Lichtenberg. We explicitly calculate the ratio of the magnetic dipole moments of the proton and neutron within the $SU(6)$ model and compare it to the experimental result. We then demonstrate why it is fundamentally impossible to construct a fully relativistic quantum field theory based on dynamical symmetries of the $SU(6)$ type without violating essential spacetime covariance constraints. To explain this impossibility, we invoke the Coleman-Mandula theorem. We clarify how the formalism of supersymmetry allows us to evade this no-go theorem, namely how it enables nontrivial mixing of spacetime and internal symmetries. Theories such as the Standard Model and the various quark models rely on ordinary Lie algebras, whereas supersymmetry is built on graded Lie superalgebras. We conclude by introducing the fundamentals of supersymmetry, explicitly contrasting ordinary Lie algebras with graded Lie superalgebras. By tracing the evolution from approximate flavor symmetries to the Coleman–Mandula theorem, this overview clarifies how quark-model limitations motivated the development of supersymmetric frameworks. As a review paper, it offers a unified perspective on symmetry principles and the foundations of physics beyond the Standard Model.

Keywords: symmetries, quark model, $SU(6)$, Coleman-Mandula theorem.

ХЕМИЈА
CHEMISTRY

Инсулинска резистенција: приступи индукцији и одабране методе и индекси за процјену

Ајдин Муџезин^{1,2}, Атифа Ајановић¹, Маја Казазих³ и Исмет Тахировић²*

¹ Универзитет у Сарајеву, Ветеринарски факултет, Сарајево, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Сарајеву, Природно-математички факултет, Сарајево, Босна и Херцеговина

³ Универзитет „Демал Биједић“ у Мостару, Наставнички факултет, Мостар, Босна и Херцеговина

* ajdin.mujezin@vfs.unsa.ba

Инсулин је главни анаболички хормон чије је дјеловање неопходно за правилан раст и развој ткива, као и за одржавање хомеостазе глукозе. Инсулин регулише хомеостазу глукозе посредством више механизма: смањује биосинтезу глукозе у јетри путем смањења глуконеогенезе и гликогенолизе, те повећава брзину преузимања глукозе, првенствено у ћелијама скелетних мишића и масног ткива. Поред тога, инсулин утиче на метаболизам липида стимулишући њихову синтезу у јетри и ћелијама масног ткива, истовремено инхибирајући ослобађање масних киселина из масног ткива. Стање смањене осјетљивости циљних ткива на нормалне циркулишуће концентрације инсулина класично се дефинише као инсулинска резистенција (ИР). Инсулинска резистенција доводи до непотпуног сузбијања продукције глукозе у јетри и смањеног преузимања глукозе посредованог инсулином у периферним ткивима, као што су скелетни мишићи и масно ткиво, што резултира повећаним потребама за инсулином. Када повећане потребе за инсулином нису праћене повишеним нивоима инсулина, долази до развоја хипергликемије. Инсулинска резистенција има централну улогу у развоју дијабетеса типа 2, а повезана је и са другим здравственим поремећајима, укључујући централну гојазност, интолеранцију на глукозу, дислипидемију и хипертензију. Ови поремећаји заједно се класификују као метаболички синдром (познат и као синдром X) и представљају факторе ризика за кардиоваскуларна обољења. Циљ овог прегледног рада био је сумирање постојећих сазнања о различитим приступима индукцији инсулинске резистенције, као и о примјени одговарајућих метода и индекса за њену процјену. За изазивање инсулинске резистенције код лабораторијских животиња (најчешће мишева и пацова) користе се специфични режими исхране, као што су исхрана богата мастима и/или угљеним хидратима. Ови режими могу се примјењивати појединачно или у комбинацији. Исхрана богата мастима разликује се у зависности од врсте масти (засићене или незасићене). Намирнице биљног поријекла богате засићеним масним киселинама укључују кокосово уље (86,1%) и палмино уље (47,2%), док намирнице животињског поријекла богате овим киселинама укључују путер (50,9%) и говеђи лој (49,8%). С друге стране, међу изворима биљног поријекла богатим незасићеним масним киселинама издвајају се високоолеинско уље шафранике (92,5%) и високолинолно сунцокретоно уље (87,6%), док извори животињског поријекла укључују уље јетре бакалара (75,2%) и маргарин (60,7%). Поред тога, исхрана богата угљеним хидратима такође може варирати у зависности од врсте угљених хидрата (једноставни, као што је фруктоза, или сложени, као што је кукурузни скроб). У експерименталним студијама на животињама за индукцију инсулинске резистенције најчешће се користи комбинација засићених масти и фруктозе. Даље, постоје различити приступи лабораторијској процјени инсулинске резистенције. Она се може процјењивати директним мјерењем уноса глукозе који је посредован инсулином у базалном или стимулисаном

стању, посредно на основу релативних концентрација глукозе и инсулина или процјеном сурогат-маркера инсулинског дјеловања. Конкретније, инсулинска резистенција може се процјењивати методама као што су хиперинсулинемијски-еугликемијски кламп (HIEC), орални тест толеранције на глукозу (OGTT) и брзи тест осјетљивости на инсулин (RIST), укључујући индексе изведене из OGTT и RIST тестова, док је процјена хомеостатског модела (HOMA) најчешће коришћени једноставни сурогатни индекс. Закључно, с обзиром на то да метаболички путеви који леже у основи развоја инсулинске резистенције још нису у потпуности разјашњени, неопходна су даља истраживања како би се стекла нова сазнања усмјерена ка унапређењу превенције овог стања, као и с њим повезаних метаболичких поремећаја.

Кључне ријечи: инсулинска резистенција, животињски модели, индукција путем исхране, методе процјене, HOMA-IR.

Insulin Resistance: Induction Approaches and Selected Methods and Indices for Assessment

Ajdin Mujezin^{1,2}, Atifa Ajanović¹, Maja Kazazić³ and Ismet Tahirović²*

¹ University of Sarajevo, Veterinary Faculty, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

² University of Sarajevo, Faculty of Science, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

³ University "Džemal Bijedić" of Mostar, Faculty for Education, Mostar, Bosnia and Herzegovina

* ajdin.mujezin@vfs.unsa.ba

Insulin is the principal anabolic hormone whose action is essential for proper tissue growth and development, as well as for maintaining glucose homeostasis. Insulin regulates glucose homeostasis through several mechanisms, by reducing hepatic glucose biosynthesis via decreased gluconeogenesis and glycogenolysis and by increasing the rate of glucose uptake, primarily in skeletal muscle and adipose tissue cells. Moreover, insulin affects lipid metabolism by stimulating lipid synthesis in the liver and adipose tissue cells, while simultaneously inhibiting the release of fatty acids from adipose tissue. A state of reduced responsiveness of target tissues to normal circulating levels of insulin is classically defined as insulin resistance (IR). IR results in incomplete suppression of hepatic glucose output and reduced insulin-mediated glucose uptake in peripheral tissues such as skeletal muscle and adipose tissue, leading to increased insulin requirements. When increased insulin requirements are not matched by elevated insulin levels, hyperglycemia ensues. IR plays a central role in the development of type 2 diabetes mellitus and is also associated with other health disorders, including central obesity, glucose intolerance, dyslipidemia, and hypertension, which together are classified as metabolic syndrome (commonly known as syndrome X) and represent risk factors for cardiovascular disease. The aim of this review was to summarize existing knowledge regarding different approaches to the induction of IR, as well as the application of appropriate methods and indices for its assessment. To induce IR in laboratory animals (most commonly mice and rats), specific dietary regimens such as high-fat and/or high-carbohydrate diets are employed. Thus, these dietary regimens can be applied either individually or in combination. High-fat diets differ according to the type of fat (saturated or unsaturated). Plant-derived foods rich in saturated fatty acids include coconut oil (86.1%) and palm oil (47.2%), whereas animal-derived foods

rich in these fatty acids include butter (50.9%) and beef tallow (49.8%). On the other hand, among plant-derived sources rich in unsaturated fatty acids are high-oleic safflower oil (92.5%) and high-linoleic sunflower oil (87.6%), while animal-derived sources include cod liver oil (75.2%) and margarine (60.7%). Apart from that, high-carbohydrate diets can also vary depending on the type of carbohydrate (simple, such as fructose, or complex, such as corn starch). In experimental animal studies, a combination of saturated fats and fructose is most commonly used to induce IR. Furthermore, there are various approaches to the laboratory assessment of IR. IR can be assessed by directly measuring insulin-mediated glucose uptake in the basal or stimulated state, by inferring it from relative glucose and insulin concentrations, or by evaluating surrogate markers of insulin action. More specifically, IR may be assessed using methods such as the hyperinsulinemic-euglycemic clamp (HIEC), oral glucose tolerance test (OGTT), and rapid insulin sensitivity test (RIST), including indices derived from OGTT and RIST, while homeostasis model assessment (HOMA) is the most commonly used simple surrogate index. In conclusion, given that the metabolic pathways underlying the development of IR are not yet fully elucidated, further research is essential to generate new insights aimed at improving the prevention of this state, as well as associated metabolic disorders.

Keywords: insulin resistance, animal models, dietary induction, assessment methods, HOMA-IR.

Волтаметријско одређивање триптофана применом стакластог угљеника модификованог хитозаном и графен оксидом

Катарина Постоловић^{1*} и Зорка Станић¹

¹ Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, Институт за хемију,
Крагујевац, Србија

* katarina.postolovic@pmf.kg.ac.rs

Есенцијална аминокиселина триптофан има веома важну улогу за нормално функционисање организма. Триптофан учествује у различитим метаболичким процесима и, као прекурсор за добијање неколико неуротрансмitera (укључујући серотонин и мелатонин), представља важан део централног нервног система. Осим исхраном, неопходна количина триптофана у организму се може обезбедити и коришћењем различитих фармацеутских препарата. Имајући у виду да недовољна количина триптофана може узроковати различите психолошке поремећаје, неопходно је његово контролисање, али и одређивање концентрације у прехранбеним и фармацеутским производима. Захваљујући могућности да триптофан подлеже реакцијама оксидоредукције, примењене су различите модификоване електроде за његово волтаметријско одређивање. Актуелна истраживања су усмерена према развијању волтаметријских сензора који су биокомпатибилни и једноставни за припремање. Основни циљ овог истраживања управо јесте испитивање потенцијала електроде на бази стакластог угљеника, модификоване биокомпатибилним материјалима хитозаном и електрохемијски редукованим графен оксидом. Хитозан представља нетоксичан, биодеградабилан и једини природни, позитивно наелектрисани

полисахарид. Растварањем хитозана у разблаженој сирћетној киселини формира се хидрогел који у волтаметријском сензору повећава проводљивост и акумулацију анализата на површини модификоване електроде. Електрохемијски редуковани графен оксид, добијен применом цикличне волтаметрије, представља одличан каталитички материјал који има значајан утицај на кинетику редокс реакције анализата. У оквиру овог истраживања, испитан је утицај како појединачних модификатора, хидрогела хитозана и електрохемијски редукованог графен оксида, тако и њихове смеше, на волтаметријски сигнал триптофана. У процесу оптимизације састава волтаметријског сензора, вариране су концентрације појединачних модификатора, као и запремина смеше којом је модификована електрода. Оптимизовани су и услови за одређивање триптофана (pH вредност, потенцијал и време акумулације). Добијени резултати су показали да присуство хитозана омогућава већу акумулацију триптофана на површини електроде захваљујући оствареним водоничним везама између анализата и модификатора, али и формираним електростатичким и другим међумолекулским интеракцијама. С друге стране, електрохемијски редукован графен оксид је значајно повећао проводљивост електрохемијског сензора, снижавајући границу детекције триптофана. Одређивањем активне површине припремљених електрода, утврђено је да оба модификатора утичу на повећање активне површине, али и броја активних места на електроди. Варирањем pH вредности, показано је да веома кисела, али и базна средина нису погодне за одређивање триптофана; највећи волтаметријски сигнали триптофана добијени су у опсегу pH вредности 5,0–7,0. Такође, утврђено је да се у редокс реакцији триптофана размени једнак број протона и електрона. Из резултата добијених применом цикличне волтаметрије и испитивањем различитих брзина скенирања, израчунато је да број размењених електрона износи 2. Уз оптималне експерименталне услове и применом диференцијалне пулсне волтаметрије, одређен је триптофан у опсегу концентрација 0,2–100,0 $\mu\text{mol/L}$. Селективност сензора је испитана у односу на уобичајено присутна једињења у узорцима који садрже триптофан. Применљивост сензора је потврђена одређивањем триптофана у реалним узорцима – комерцијално доступним фармацеутским формулацијама и синтетичком урину. Имајући у виду све добијене резултате који укључују ниску границу детекције анализата, одличну селективност, репродуктивност резултата, стабилност сензора, може се закључити да развијени сензор поседује значајан потенцијал за одређивање триптофана у широком опсегу концентрација, како у биолошким узорцима, тако и у фармацеутским формулацијама.

Кључне речи: триптофан, хитозан, електрохемијски редукован графен оксид, стакласти угљеник, волтаметријски сензор.

Voltammetric Determination of Tryptophan Using Glassy Carbon Electrode Modified with Chitosan and Graphene Oxide

Katarina Postolović^{1*} and Zorka Stanić¹

¹ University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Chemistry, Kragujevac, Serbia

* katarina.postolovic@pmf.kg.ac.rs

Tryptophan is an essential amino acid and plays a very important role in maintaining normal physiological function. Tryptophan participates in various metabolic processes. As a precursor for the formation of several neurotransmitters (including serotonin and melatonin), tryptophan represents an important component of the central nervous system. Besides dietary intake, the necessary amount of tryptophan in the organism can also be provided through the use of various pharmaceutical preparations. Considering that an insufficient concentration of tryptophan in the organism can cause various psychological disorders, it is necessary to control its concentration, as well as to determine it in food and pharmaceutical products. Thanks to the ability of tryptophan to undergo redox reactions, various modified electrodes have been applied for its voltammetric determination. Recent studies have been focused on the development of biocompatible voltammetric sensors that can be easily prepared. Accordingly, the main aim of this study is the examination of the potential of a glassy carbon electrode modified with biocompatible materials, chitosan and electrochemically reduced graphene oxide. Chitosan is a non-toxic, biodegradable, and the only naturally occurring positively charged polysaccharide. Dissolution of chitosan in dilute acetic acid leads to hydrogel formation. Its presence in a voltammetric sensor enables higher conductivity and increased accumulation of the analyte on the surface of the modified electrode. Electrochemically reduced graphene oxide represents an excellent catalytic material, obtained using cyclic voltammetry, and has a significant influence on the kinetics of the analyte redox reaction. Within this study, the influence of individual modifiers, the chitosan hydrogel and electrochemically reduced graphene oxide, as well as their mixture, on the voltammetric signal of tryptophan was analyzed. The concentrations of individual modifiers, as well as the volume of the mixture used for electrode modification, were optimized. Also, the optimal conditions for tryptophan detection (pH value, accumulation potential, and accumulation time) were determined. The obtained results indicated that the presence of chitosan enabled greater accumulation of tryptophan on the electrode surface, primarily due to the formation of hydrogen bonds between the analyte and the modifier, as well as electrostatic and other intermolecular interactions. On the other side, electrochemically reduced graphene oxide significantly enhanced the conductivity of the electrochemical sensor, thus enabling higher sensitivity of tryptophan detection. By determining the active surface area of the prepared electrodes, it was established that both modifiers contribute to an increase in the active surface area and the number of active sites on the electrode. Variation of the pH values demonstrated that highly acidic and basic environments were not suitable for tryptophan determination; the highest voltammetric signals were obtained in the pH range of 5.0–7.0. It was also found that an equal number of protons and electrons are exchanged in the tryptophan redox reaction. Results related to the cyclic voltammetry and the examination of different scan rates indicated that the number of exchanged electrons is 2. Utilizing the optimal experimental conditions and differential pulse voltammetry, tryptophan was determined in the concentration range of 0.2–100.0 $\mu\text{mol/L}$. The selectivity of the sensor toward compounds commonly pre-

sent in samples containing tryptophan was also assessed. The applicability of the sensor was confirmed through tryptophan determination in real samples – commercially available pharmaceutical formulations and synthetic urine. Considering all the obtained results, including the low detection limit of the analyte, excellent selectivity, reproducibility of results, and sensor stability, it can be concluded that the developed sensor possesses significant potential for the determination of tryptophan over a wide concentration range, both in biological samples and in pharmaceutical formulations.

Keywords: tryptophan, chitosan, electrochemically reduced graphene oxide, glassy carbon electrode, voltammetric sensor.

FTIR анализа полисахаридне фракције *Cyclocybe aegerita* (V. Brig.) Vizzini 2014

Дијана Алексић^{1*}, Леа Малешевић¹, Гордана Гојзић-Цвијовић² и Милена Рашета¹

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Департман за хемију, Београд, Србија

* dikakodibro@gmail.com

Поједини β -гљукани, укључујући оне присутне у врсти макрогљиве *C. aegerita* показују способност директне инхибиције раста тумора и развоја метастаза, истичући гљиве као обећавајуће мете за превенцију канцера, као и његову терапију. У овом раду је урађена FTIR анализа полисахаридне фракције гљиве *C. aegerita* прикупљене на територији града Новог Сада (Република Србија). Добијени резултати указали су на присуство протеина и ароматичних једињења (примарно полифенола) унутар анализираних фракција богате полисахаридима. Резултати указују на присуство полисахарида са карактеристичним β -гликозидним везама и протеинским фракцијама, што потврђује садржај азота од 5,07% одређен микроанализом. Посебно је значајно одсуство сумпора у анализираној фракцији, што указује на високу селективност процеса екстракције којом се примарно изолују полисахариди уз задржавање сумпорних једињења унутар ћелија гљива. Ово откриће је важно јер показује да процес екстракције селективно изолује полисахариде без коекстракције молекула богатих сумпором, као што су одређени протеини, гликопротеини или секундарни метаболити који су заступљени у значајним концентрацијама у гљивама као што је *C. aegerita*.

Кључне речи: *Cyclocybe aegerita*, медицинске гљиве, полисахаридна фракција, FTIR, микроанализа.

FTIR Analysis of Polysaccharide Fraction of *Cyclocybe aegerita* (V. Brig.) Vizzini 2014

Dijana Aleksić^{1*}, Lea Malešević¹, Gordana Gojgić-Cvijović² and Milena Rašeta¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

² University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Department of Chemistry, Belgrade, Serbia

* dikakodibro@gmail.com

Some β -glucans, including those from macrofungi *C. aegerita*, have shown the ability to directly inhibit tumor growth and metastasis, highlighting fungi as promising targets for cancer prevention and therapy. In this study, FTIR analysis was performed on the polysaccharide fraction of the mushroom *C. aegerita* collected in the territory of the City of Novi Sad (Republic of Serbia). The results indicated the presence of proteins and aromatic compounds (primarily polyphenolics) within the polysaccharide-rich fraction. The results indicate the presence of polysaccharides with characteristic β -glycosidic bonds and protein fractions, which is confirmed by the nitrogen content of 5.07% found by microanalysis. Notably, the absence of sulfur in the analyzed fraction indicates a high selectivity of the extraction process that isolates polysaccharides while retaining sulfur compounds within the fungal cells. This finding is significant as it shows that the extraction process selectively isolates polysaccharides without co-extracting sulfur-containing molecules, such as certain proteins, glycoproteins, or secondary metabolites that are present in notable concentrations in macrofungi such as *C. aegerita*.

Keywords: *Cyclocybe aegerita*, medicinal fungi, polysaccharide fraction, FTIR, microanalysis.

Синтеза и структурна карактеризација хром(III) комплекса са 2-хидрокси-1,3-пропандиамин-N,N,N',N'-тетраацетатом

Бојана Пантовић^{1*}, Дарко Ашанин², Ненад Драшковић³, Милош Ђуран⁴ и Биљана Глишић¹

¹ Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, Институт за хемију, Крагујевац, Србија

² Универзитет у Крагујевцу, Институт за информационе технологије, Департман за науку, Крагујевац, Србија

³ Универзитет у Приштини–Косовска Митровица, Пољопривредни факултет, Лешак, Србија

⁴ Српска академија наука и уметности, Београд, Србија

* bojana.pantovic@pmf.kg.ac.rs

Велико интересовање у области координационе хемије већ дуги низ година усмерено је ка edta^{4-} лиганду (етилendiамин-N,N,N',N'-тетраацетат) и његовим структурним аналогама који поседују N_2O_4 доворски сет атома. У односу на edta^{4-} , 1,3-pdta⁴⁻ лиганд одли-

кује се продуженим диаминским ланцем за једну $-\text{CH}_2-$ групу. Овај лиганд, као и његови деривати добијени даљим структурним модификацијама (лиганди 1,3-pdta-типа), са великим бројем јона прелазних метала граде стабилне, у води растворне октаедарске комплексе опште формуле $[\text{M}(1,3\text{-pdta-тип лиганда})]^{n-}$, који показују разноврсне структурне карактеристике. У овом раду испитан је утицај присуства хидроксилне групе на централном атому угљеника 1,3-пропандиаминског ланца на стабилност и структурне карактеристике комплекса. Истраживање је обухватило синтезу и карактеризацију хром(III) комплекса са хексадентатним 2-ОН-1,3-pdta⁴⁻ лигандом (2-хидрокси-1,3-пропандиамин-*N,N,N',N'*-тетраацетат), формуле $\text{K}[\text{Cr}(2\text{-ОН-1,3-pdta})]$. Комплекс је синтетисан у реакцији CrCl_3 са натријумовом соли 2-хидрокси-1,3-пропандиамин-*N,N,N',N'*-тетраацетатне киселине у воденој средини, при чему је реакциона смеша мешана 2 h уз загревање на 80 °C. Упарен и охлађен љубичастоцрвени раствор пропуштен је кроз колону са анјонском измењивачком смолом Dowex 1-X8 у Cl^- облику. Након испирања водом, комплекс је елуиран 0,1 M раствором KCl , при чему је уочена интензивно обојена трака која одговара $[\text{Cr}(2\text{-ОН-1,3-pdta})]^-$ комплексном анјону. Елуат је затим упарен, обесолjen гел-филтрацијом (Sephadex G-10 колона, дестилована вода као елуент), затим је $\text{K}[\text{Cr}(2\text{-ОН-1,3-pdta})]$ концентрован на 10,0 mL, након чега је додата једнака запремина етанола. Кристализација је постигнута чувањем раствора 7 дана на 4 °C. Чистоћа и састав синтетисаног комплекса потврђени су елементалном микроанализом, док је структурна карактеризација извршена помоћу IR спектроскопије, UV-Vis спектрофотометрије и рендгенске структурне анализе. Резултати рендгенске структурне анализе комплекса показали су да је 2-ОН-1,3-pdta⁴⁻ лиганд хексадентатно координован за хром(III) јон преко два атома азота и четири атома кисеоника карбоксилатних група, формирајући октаедарску геометрију, док се јон калијума налази у спољашњој координационој сфери као контра-јон. UV-Vis спектар $\text{K}[\text{Cr}(2\text{-ОН-1,3-pdta})]$ комплекса показује две симетричне траке без уочљивог цепања, које одговарају прелазима у ${}^4\text{T}_{1g}(\text{O}_h)$ и ${}^4\text{T}_{2g}(\text{O}_h)$ стања, што је карактеристично за октаедарске хром(III) комплексе и у сагласности је са сродним системима 1,3-pdta-типа. IR спектар показује интензивну и широку траку на 1634 cm^{-1} , што указује да су све карбоксилне групе 2-ОН-1,3-pdta⁴⁻ лиганда координоване за јон метала. Такође су уочене и три интензивне и оштре траке на 1363, 1329 и 1302 cm^{-1} , које потичу од симетричних валенционих вибрација координованих карбоксилних група. Вредност моларне проводљивости указује да се $\text{K}[\text{Cr}(2\text{-ОН-1,3-pdta})]$ комплекс понаша као електролит типа 1:1 у води. Резултати добијени у овом раду могу бити од значаја за даљи развој координационе хемије комплекса јона прелазних метала са ди-аминополикарбоксилатним лигандима.

Кључне речи: хром(III) комплекс, рендгенска структурна анализа, спектроскопија, аминокиселински поликарбоксилатни лиганди.

Synthesis and Structural Characterization of a Chromium(III) Complex with 2-Hydroxy-1,3-Propanediamine-*-N,N,N',N'*-Tetraacetate

Bojana Pantović^{1*}, Darko Ašanin², Nenad Drašković³, Miloš Đuran⁴ and Biljana Glišić¹

¹ University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Chemistry, Kragujevac, Serbia

² University of Kragujevac, Institute for Information Technologies, Department of Science, Kragujevac, Serbia

³ University of Priština–Kosovska Mitrovica, Faculty of Agriculture, Lešak, Serbia

⁴ Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia

* bojana.pantovic@pmf.kg.ac.rs

Significant interest in coordination chemistry has long been focused on the edta^{4-} ligand (ethylenediamine-*-N,N,N',N'*-tetraacetate) and its structural analogs featuring an N_2O_4 donor atom set. Compared with edta^{4-} , the 1,3-pdta⁴⁻ ligand possesses an extended diamine backbone with one $-\text{CH}_2-$ group. This ligand, as well as its derivatives obtained through further structural modifications (1,3-pdta-type ligands), forms stable, water-soluble octahedral complexes with a wide range of transition metal ions, generally described by the formula $[\text{M}(1,3\text{-pdta-type ligand})]^{n-}$ and exhibiting diverse structural features. In this work, the influence of a hydroxyl group introduced at the central carbon atom of the 1,3-propanediamine backbone on the stability and structural properties of the complexes was investigated. The study included the synthesis and characterization of a chromium(III) complex with a hexadentate 2-OH-1,3-pdta⁴⁻ ligand (2-hydroxy-1,3-propanediamine-*-N,N,N',N'*-tetraacetate), with the formula $\text{K}[\text{Cr}(2\text{-OH-1,3-pdta})]$. The complex was synthesized by reacting CrCl_3 with the sodium salt of 2-hydroxy-1,3-propanediamine-*-N,N,N',N'*-tetraacetic acid in aqueous medium, and the reaction mixture was stirred for 2 h at 80 °C. The concentrated and cooled purple-red solution was passed through a column packed with the anion-exchange resin Dowex 1-X8 in the Cl^- form. After washing with water, the complex was eluted with 0.1 M KCl, yielding an intensely colored band corresponding to the $[\text{Cr}(2\text{-OH-1,3-pdta})]^-$ complex anion. The eluate was then concentrated and desalted by gel filtration (Sephadex G-10, distilled water as the eluent). The resulting solution of $\text{K}[\text{Cr}(2\text{-OH-1,3-pdta})]$ was concentrated to 10.0 mL, followed by the addition of an equal volume of ethanol. Crystallization was achieved by storing the solution at 4 °C for 7 days. The purity and composition of the synthesized complex were confirmed by elemental microanalysis, whereas structural characterization was performed using IR spectroscopy, UV–Vis spectrophotometry, and single-crystal X-ray diffraction analysis. X-ray structural analysis revealed that the 2-OH-1,3-pdta⁴⁻ ligand coordinates in a hexadentate manner to the chromium(III) ion *via* two nitrogen atoms and four oxygen atoms from carboxylate groups, forming an octahedral geometry, whereas the potassium ion is located in the outer coordination sphere as a counterion. The UV–Vis spectrum of $\text{K}[\text{Cr}(2\text{-OH-1,3-pdta})]$ shows two symmetric absorption bands without noticeable splitting, corresponding to transitions to the ${}^4\text{T}_{1g}(\text{O}_h)$ and ${}^4\text{T}_{2g}(\text{O}_h)$ states, which are characteristic of octahedral chromium(III) complexes and are consistent with related 1,3-pdta-type systems. The IR spectrum exhibited a strong and broad band at 1634 cm^{-1} , indicating the coordination of all the carboxylate groups to the metal ion. Additionally, three intense and sharp bands at 1363, 1329, and 1302 cm^{-1} are observed, corresponding to the symmetric stretching vibrations of coordinated carboxylate groups. Molar conductivity measurements

indicate that the complex behaves as a 1:1 electrolyte in aqueous solution. The obtained results may be significant for the further development of the coordination chemistry of transition metal complexes with diaminopolycarboxylate ligands.

Keywords: chromium(III) complex, X-ray diffraction analysis, spectroscopy, aminopolycarboxylate ligands.

Фототермална NEMS-FTIR спектроскопија за хемијску идентификацију микро- и нанопластике

Јелена Тимарац-Поповић^{1,2}, Јоханес Хизбергер², Елдира Шесто¹, Никлас Луман², Аријана Гизригл¹, Хајрудин Бешић², Жозијан П. Лафлер² и Силван Шмид¹*

¹ Технички универзитет у Бечу, Институт за сензорске и актуаторске системе, Беч, Аустрија

² Invisible-Light Labs GmbH, Беч, Аустрија

* jelena.popovic@tuwien.ac.at

Детекција и хемијска идентификација микропластике и нанопластике представљају значајан аналитички изазов због њихове мале величине и ниског масеног оптерећења, док потенцијални утицаји ових честица на животну средину и здравље људи изазивају све већу забринутост. У овом раду представљена је инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом заснована на наноелектромеханичким системима (NEMS-FTIR) за детекцију, идентификацију и квантификацију полимерних микро- и наночестица. Циљ овог истраживања био је да се процијени способност NEMS-FTIR технике да детектује полимерне честице микро- и наноразмјера при изузетно ниским масама, уз очување њихове хемијске специфичности. Основа технике је NEMS резонатор који се састоји од мембране силицијум-нитрида дебљине 50 nm, која служи и као подлога за узорак и као активни сензорски елемент. Инфрацрвена (IR) апсорпција честица депонованих на мембрани претвара се у помјерај резонантне фреквенције посредством фототермалне трансдукције. Промјена резонантне фреквенције NEMS резонатора пропорционална је апсорбованој снази и биљежи се као функција таласне дужине, што омогућава реконструкцију IR спектра узорка. NEMS-FTIR спектроскопија примјењена је на полимерне честице различитог састава и величине, укључујући полипропилен (PP, 54 nm), полистирен (PS, 100 nm), поливинил-хлорид (PVC, 262 nm) и полиетилен-терефталат (PET, 1350 nm). Сви узорци су нанесени на NEMS резонаторе помоћу пиезоелектричног дозатора нанокапљица, што је омогућило прецизно и контролисано наношење узорака без ограничења условљених величином честица. Ова техника омогућила је хемијску идентификацију свих испитиваних полимера уз очување њихових карактеристичних инфрацрвених спектралних отисака, при границама детекције масе у распону од неколико стотина пикограма. То представља побољшање од приближно једног реда величине у односу на објављене границе детекције пиролизне гасне хроматографије–масене спектрометрије за анализу нанопластике. Појединачни полимерни сигнали успјешно су разлучени и у мјешовитим узорцима честица, при чему су компоненте могле бити идентификоване у оквиру јед-

ног спектра. Поред тога, сигнал добијен од наночестица полистирена омогућио је квантитативну процјену депоноване масе, показујући како хемијске тако и квантитативне могућности ове методе. Како би се показала примјенљивост у реалним условима животне средине, NEMS-FTIR спектроскопија је коришћена за анализу испирака најлона ослобођених из материјала најлонских врећица за чај током уобичајених услова припреме напитка. Није била потребна никаква претходна концентрација или припрема узорака, а испирци најлона успјешно су детектовани чак и у присуству сложене чајне матрице која садржи биљни материјал. За поређење, ATR-FTIR мјерења у истим условима, чак и уз приближно пет пута већу запремину узорка, дала су тек једва уочљив сигнал најлона. Ови резултати показују способност NEMS-FTIR спектроскопије за осјетљиву детекцију, хемијску идентификацију и квантификацију полимерних честица на нивоу пикограмских маса. Метода такође омогућава анализу мјешовитих полимерних система и директну спектроскопску карактеризацију микро- и нанопластике мале масе, што истиче њен потенцијал за мониторинг пластичне контаминације у животној средини. Већина резултата овог истраживања објављена је у часопису *ACS Nano* (<https://doi.org/10.1021/acsnano.5c22099>).

Кључне ријечи: нанопластика, микропластика, фототермално сензирање, наноелектромеханички системи, инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом.

Photothermal NEMS-FTIR Spectroscopy for Chemical Identification of Micro- and Nanoplastics

Jelena Timarac-Popović^{1,2*}, Johannes Hiesberger², Eldira Šesto¹, Niklas Luhmann², Ariane Giesriegl¹, Hajrudin Bešić², Josiane P. Lafleur² and Silvan Schmid¹

¹ TU Wien, Institute of Sensor and Actuator Systems, Vienna, Austria

² Invisible-Light Labs GmbH, Vienna, Austria

* jelena.popovic@tuwien.ac.at

The detection and chemical identification of micro- and nanoplastics are analytically challenging due to their small size and low mass loadings, while their potential impacts on environmental and human health are of growing concern. Here we present nanoelectromechanical system-based Fourier transform infrared (NEMS-FTIR) spectroscopy for the detection, identification and quantification of polymer micro- and nanoparticles. The aim of this study was to evaluate the capability of NEMS-FTIR to detect micro- and nanoscale polymer particles at extremely low mass levels while preserving their chemical specificity. The core of the technique is a NEMS resonator consisting of a 50 nm thick silicon nitride membrane, which serves as both the sample substrate and the active sensing element. Infrared (IR) absorption by particles deposited on the membrane is converted into a resonance frequency shift via photothermal transduction. The frequency detuning of the NEMS resonator is proportional to the absorbed power and is recorded as a function of wavelength, enabling the reconstruction of the IR spectrum of the sample. NEMS-FTIR spectroscopy was applied to polymer particles of different compositions and sizes, including polypropylene (PP, 54 nm), polystyrene (PS, 100 nm), polyvinyl chloride (PVC, 262 nm), and polyethylene terephthalate (PET, 1350 nm). All

samples were deposited onto the NEMS resonators using a piezoelectric nanodroplet dispenser, enabling precise and controlled sample loading without limitations imposed by particle size. The technique enabled chemical identification of all investigated polymers while preserving their characteristic IR fingerprints, with mass detection limits in the low hundreds of picograms range. This represents an approximately one-order-of-magnitude improvement over reported pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry detection limits for nanoplastic analysis. Individual polymer signatures were also successfully resolved in mixed particle samples, where components could be identified within a single spectrum. In addition, the signal from PS nanoparticles enabled quantitative estimation of the deposited mass, demonstrating both chemical and quantitative capability. To demonstrate applicability in a realistic environmental scenario, NEMS-FTIR spectroscopy was used to analyze nylon leachates released from nylon teabag material under typical brewing conditions. No sample preconcentration or preparation was required, and nylon leachates were successfully detected even in the presence of a complex tea matrix containing plant material. For comparison, ATR-FTIR measurements under the same conditions, even with approximately fivefold higher sample volume, yielded only a barely visible nylon signal. These results demonstrate the capability of NEMS-FTIR spectroscopy for sensitive detection, chemical identification, and quantification of polymer particles at picogram mass levels. The method further enables analysis of mixed polymer systems and direct spectroscopic characterization of low-mass micro- and nanoplastics, highlighting its potential for environmental monitoring of plastic contamination. The majority of this work has been published in *ACS Nano* (<https://doi.org/10.1021/acsnano.5c22099>).

Keywords: nanoplastics, microplastics, photothermal sensing, nanoelectromechanical systems, Fourier transform infrared spectroscopy.

Синтеза и структурна карактеризација сребро(I) комплекса са 1-фенилимидазолом

Невена Стевановић^{1*}, Јакоб Кљун² и Биљана Глишић¹

¹ Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, Институт за хемију, Крагујевац, Србија

² Универзитет у Љубљани, Факултет за хемију и хемијску технологију, Љубљана, Словенија

* nevena.stevanovic@pmf.kg.ac.rs

Сребро(I) комплекси последњих година привлаче значајну пажњу у области координационе и медицинске хемије због својих изражених антибактеријских, антифунгалних и потенцијалних антиканцерогених активности. Истраживања су усмерена на комплексе сребра(I) са ароматичним *N*-хетероцикличним једињењима, који имају кључну улогу у одређивању стабилности, растворљивости и биолошке активности добијених комплекса. Сходно томе, у овом раду приказана је синтеза и структурна карактеризација комплекса сребра(I) са 1-фенилимидазолом (phim). Комплекс $[Ag(phim)_2]SbF_6$ је добијен у реакцији сребро(I)-хексафлуороантимоната(V) и 1-фенилимидазола која је изведена у молском односу 1 : 1 у етанолу на собној температури. Реакциони услови су оптимизовани ка-

ко би се избегла редукција Ag(I) јона. Кристали сребро(I) комплекса погодни за рендгенску структурну анализу су настали упаравањем раствора добијеног растварањем белог талога у смеши ацетонитрил/вода (v/v 1:1) на собној температури након 3–5 дана. Чистоћа и састав синтетисаног комплекса сребра(I) је потврђена применом елементарне микроанализе, док је комплекс сребра(I) окарактерисан применом ^1H NMR и IR спектроскопије, UV-Vis спектрофотометрије, мерењем моларне проводљивости и рендгенске структурне анализе. Резултати рендгенске структурне анализе кристала сребро(I) комплекса су показали да су два молекула 1-фенилимидазола монодентатно координована за Ag(I) јон преко атома азота из имидазоловог прстена формирајући $[\text{Ag}(\text{phim})_2]^+$ комплексни катјон, док се у спољашњој координационој сфери налази SbF_6^- анијон. Два атома азота из два молекула 1-фенилимидазола се налазе на подједнако удаљеном растојању од Ag(I) јона, при чему комплекс има благо дисторговану линеарну геометрију. Инфрацрвени спектар Ag(I) комплекса показује очекиване траке које се могу приписати координованом phim лиганду. Присутна је интензивна трака на 656 cm^{-1} која потиче од SbF_6^- анијона која указује на то да нема координације SbF_6^- са Ag(I) јоном. Поред тога, карактеристичне вибрације ароматичних прстенова, $\nu(\text{C}_{\text{ar}}=\text{C}_{\text{ar}})$ и $\nu(\text{C}_{\text{ar}}=\text{N})$, које се налазе у опсегу ($1597\text{--}1440\text{ cm}^{-1}$), померене су у односу на одговарајуће траке у спектру некоординованог 1-фенилимидазола, потврђујући на тај начин његову координацију за Ag(I) јон. ^1H NMR спектар сребро(I) комплекса снимљен у $\text{DMSO}-d_6$ поређен је са спектром некоординованог phim лиганда у истом растварачу. Број сигнала у ^1H NMR спектру комплекса одговара броју сигнала у спектру некоординованог 1-фенилимидазола, при чему је највеће хемијско померање уочено за протон који је суседан координованом phim лиганду. У циљу испитивања стабилности Ag(I) комплекса снимљени су UV-Vis спектри и ^1H NMR спектри у DMSO одмах након растварања комплекса, као и након 24 h и 48 h на собној температури. Примећена је незнатна промена у интензитету апсорпционог максимума док је облик UV-Vis спектра остао непромењен. Поред тога, у ^1H NMR спектру Ag(I) комплекса снимљеном након 48 h нису се појавиле траке које потичу од некоординованог phim лиганда, што указује на чињеницу да не долази до супституције овог лиганда молекулом растварача. Резултати овог истраживања могу бити од значаја за даљи развој координационе и медицинске хемије сребро(I) комплекса са *N*-хетероцикличним једињењима.

Кључне речи: сребро(I) комплекс, 1-фенилимидазол, кристална структурна, спектроскопија.

Synthesis and Structural Characterization of a Silver(I) Complex with 1-Phenylimidazole

Nevena Stevanović^{1}, Jakob Kljun² and Biljana Glišić¹*

¹ University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Chemistry, Kragujevac, Serbia

² University of Ljubljana, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Ljubljana, Slovenia

* nevena.stevanovic@pmf.kg.ac.rs

Silver(I) complexes have recently attracted considerable attention in the field of coordination and medicinal chemistry due to their pronounced antibacterial, antifungal and potential

anticancer activities. Research has been focused on silver(I) complexes with aromatic *N*-heterocyclic compounds, which play a key role in determining the stability, solubility, and biological activity of the resulting complexes. Accordingly, this work presents the synthesis and structural characterization of a silver(I) complex with 1-phenylimidazole (phim) as ligand. The complex $[\text{Ag}(\text{phim})_2]\text{SbF}_6$ was obtained by reacting silver(I) hexafluoroantimonate(V) with an equimolar amount of 1-phenylimidazole in ethanol at room temperature. The reaction conditions were optimized in order to prevent reduction of the Ag(I) ions. Crystals suitable for single-crystal X-ray diffraction analysis were obtained by slow evaporation of a solution prepared by dissolving the white precipitate in an acetonitrile/water mixture ($v/v = 1:1$) at room temperature after 3–5 days. The purity and composition of the synthesized silver(I) complex were confirmed by elemental microanalysis, while the complex was further characterized by ^1H NMR and IR spectroscopy, UV-Vis spectrophotometry, molar conductivity measurements, and single-crystal X-ray diffraction analysis. The results of the X-ray structural analysis revealed that two 1-phenylimidazole molecules are monodentately coordinated to the Ag(I) ion through the nitrogen atom of the imidazole ring, forming the $[\text{Ag}(\text{phim})_2]^+$ complex cation, while the SbF_6^- anion is present in the outer coordination sphere. The two nitrogen atoms from the two 1-phenylimidazole molecules are located at equal distances from the Ag(I) center, resulting in a slightly distorted linear geometry. The IR spectrum of the Ag(I) complex shows characteristic bands attributable to the coordinated phim ligand. A strong band at 656 cm^{-1} , assigned to the SbF_6^- anion, indicates the absence of coordination between SbF_6^- and the Ag(I) ion. In addition, the characteristic vibrations of the aromatic rings, $\nu(\text{C}=\text{C})$ and $\nu(\text{C}=\text{N})$, in the range ($1597\text{--}1440\text{ cm}^{-1}$), are shifted compared to the corresponding bands in the free 1-phenylimidazole spectrum, confirming its coordination to the Ag(I) ion. The ^1H NMR spectrum of the silver(I) complex recorded in $\text{DMSO-}d_6$ was compared with that of the free phim ligand in the same solvent. The number of signals in the spectrum of the complex corresponds to that of the uncoordinated ligand, while the most significant chemical shift was observed for the proton adjacent to the coordinated nitrogen atom. To investigate the stability of the Ag(I) complex, UV-Vis and ^1H NMR spectra were recorded in DMSO immediately after dissolution, as well as after 24 and 48 h at room temperature. Only a slight change in the absorption intensity was observed, while the shape of the UV-Vis spectrum remained unchanged. Furthermore, in the ^1H NMR spectrum recorded after 48 h, no signals corresponding to the free phim ligand were detected, indicating that no ligand substitution by solvent molecules occurs.

Keywords: silver(I) complex, 1-phenylimidazole, crystal structure, spectroscopy.

Синтеза и карактеризација Fe(III) комплекса са Шифовим базама добијеним из супституисаних бензалдехида и 3-аминофенола

Дин Авдиспахих^{1*} и Сабина Бегих²

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Студијски програм Хемија, Бања Лука, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Сарајеву, Природно-математички факултет, Одсек за хемију, Сарајево, Босна и Херцеговина

* din.avdispahic@student.pmf.unibl.org

Комплекси прелазних метала представљају важну класу хемијских једињења због своје структурне разноврсности и широке примјене у катализи, науци о материјалима и био-неорганској хемији. У том контексту, Шифове базе привлаче значајну пажњу захваљујући својој израженој способности координације, структурној разноврсности, једноставној синтези и биолошкој активности, укључујући антибактеријско, антифунгално, антиоксидативно и антитуморско дјеловање. Комплекси које граде прелазни метали и Шифове базе често испољавају већу биолошку активност од одговарајућих слободних лиганда, што их чини важним за даља истраживања и примјену у медицинској хемији. Циљ овог рада био је синтеза и карактеризација Fe(III) комплекса са Шифовим базама добијеним кондензацијом 3-аминофенола са одабраним супституисаним бензалдехидима, и то 2-хлоробензалдехидом, салицилалдехидом и 4-диметиламинобензалдехидом. Посебан нагласак стављен је на разјашњавање координационог понашања синтетисаних лиганда према јону Fe(III) и одређивање њихових начина координације. Шифове базе су синтетисане реакцијама кондензације у апсолутном етанолу под рефлуксом, при чему су формиране стабилне азометинске (C=N) функционалне групе. Одговарајући Fe(III) комплекси припремљени су реакцијом гвожђе(III)-хлорида са синтетисаним лигандама у молском односу метал : лиганд 1:2, под контролисаним условима. Структурна карактеризација лиганда и комплекса извршена је примјеном инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR). Координационо понашање анализирано је поређењем инфрацрвених спектра слободних лиганда и комплекса, с посебним освртом на карактеристичне вибрационе траке азометинске (C=N) групе и фенолних функционалности, као и на промјене изазване координацијом. Добијени резултати показују да је координација за Fe(III) центар праћена уочљивим помјерањима вибрационих фреквенција, што потврђује учешће донорских атома азота и кисеоника. Шифове базе добијене из 2-хлоробензалдехида и 4-диметиламинобензалдехида понашају се као анјонски бидентатни O,N-донорски лиганди, заузимајући четири координациона мјеста око јона Fe(III), док су преостала два положаја попуњена хлоридним јонима, што указује на октаедарску геометрију комплекса. Насупрот томе, Шифова база добијена из салицилалдехида понаша се као анјонски тридентатни O,N,O-донорски лиганд, координишући се преко свих шест координационих мјеста јона Fe(III). Поред тога, нове траке слабог интензитета испод 600 cm⁻¹ приписују се формирању Fe–N и Fe–O веза. Закључно, успјешно су синтетисани и FTIR методом окарактерисани Fe(III) комплекси са Шифовим базама. Резултати пружају вриједан увид у њихово координационо понашање и структурне карактеристике, изведене на основу FTIR анализе. Такође, добијени налази представљају добру основу за будућа истраживања, укључујући примјену додатних

спектроскопских метода карактеризације, као и испитивање потенцијалне биолошке активности ових једињења.

Кључне ријечи: Шифове базе, комплекси гвожђа(III), синтеза, карактеризација, FTIR спектроскопија.

Synthesis and Characterization of Fe(III) Complexes with Schiff Base Ligands Derived from Substituted Benzaldehydes and 3-Aminophenol

Din Avdispahić^{1} and Sabina Begić²*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Chemistry Study Program, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

² University of Sarajevo, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Chemistry Department, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

* din.avdispahic@student.pmf.unibl.org

Transition metal complexes represent an important class of chemical compounds due to their structural diversity and wide applicability in catalysis, materials science, and bioinorganic chemistry. In this context, Schiff base ligands have attracted considerable attention owing to their strong coordination ability, structural versatility, straightforward synthesis, and biological activity, including antibacterial, antifungal, antioxidant, and antitumor effects. Complexes formed by transition metals and Schiff bases often exhibit enhanced biological activity than the corresponding free ligands do, making them relevant for further investigations and applications in medicinal chemistry. The aim of this study was to synthesize and characterize Fe(III) complexes with Schiff base ligands obtained by the condensation of 3-aminophenol with selected substituted benzaldehydes, namely, 2-chlorobenzaldehyde, salicylaldehyde, and 4-dimethylaminobenzaldehyde. Special emphasis was placed on elucidating the coordination behavior of the synthesized ligands toward the Fe(III) ion and determining their coordination modes. The Schiff base ligands were synthesized via condensation reactions in absolute ethanol under reflux conditions, forming stable azomethine (C=N) functional groups. The corresponding Fe(III) complexes were prepared by reacting iron(III) chloride with the synthesized ligands at a 1:2 metal-to-ligand ratio under controlled conditions. Structural characterization of both the ligands and complexes was carried out using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The coordination behavior was assessed by comparing the infrared spectra of the free ligands with those of the complexes, focusing on characteristic vibrational bands of the azomethine (C=N) group and phenolic functionalities, as well as coordination-induced changes. These results indicate that coordination to the Fe(III) center is accompanied by noticeable shifts in vibrational frequencies, confirming the involvement of nitrogen and oxygen donor atoms. The Schiff bases derived from 2-chlorobenzaldehyde and 4-dimethylaminobenzaldehyde behave as anionic bidentate O,N-donor ligands, occupying four coordination sites around the Fe(III) ion, whereas the remaining two positions are occupied by chloride ions, suggesting an octahedral geometry. In contrast, the Schiff base derived from salicylaldehyde acts as an anionic tridentate O,N,O-donor ligand, coordinating through all six coordination sites of the Fe(III) ion. Furthermore, new low-intensity bands below 600 cm⁻¹ are attributed to Fe–N and

Fe–O bond formation. In conclusion, the successful synthesis and FTIR characterization of Fe(III) complexes with Schiff base ligands have been demonstrated. The results provide valuable insight into their coordination behavior and structural features, as inferred from FTIR analysis. Furthermore, these findings provide a solid basis for future investigations, including the application of additional spectroscopic characterization techniques as well as evaluation of the potential biological activity of the compounds.

Keywords: Schiff bases, iron(III) complexes, synthesis, characterization, FTIR spectroscopy.

Полимерни комплекс живе(II) са Шифовом базом: синтеза и структурна анализа

Маријана С. Регојевић^{1}, Љиљана С. Војиновић Јешић, Марко В. Родић¹ и Мирјана М. Радановић¹*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија

* marijana.kostic@dh.uns.ac.rs

Шифове базе представљају класу органских једињења која садрже азометинску групу, лако се добијају кондензацијом примарних амина са карбонилним једињењима и одликују се структурном флексибилношћу која омогућава подешавање координационих својстава. Циљ овог рада био је синтеза и структурна карактеризација комплекса живе(II) са Шифовом базом 2,6-диацетилпиридина (L), као и испитивање његових физичко-хемијских својстава. Комплекс формуле $[HL]_n[HgCl_3]_n$ добијен је директном реакцијом $HgCl_2$ и лиганда у молском односу 1:1, у присуству ацетона и метанола, на благо повишеној температури, при чему су формиран наранџасти кристали. Карактеризација је извршена применом инфрацрвене спектроскопије (IR), мерењем моларне проводљивости, термогравиметријском анализом (TG) и рендгенском дифракцијом. Испитивање растворљивости показује да се комплекс не раствара у етанолу, ацетонитрилу, ацетону и води, делимично растворљив у метанолу, а добро растворљив у диметилформамиду (ДМФ). Ниска вредност моларне проводљивости у ДМФ-у указује на неелектролитско понашање, што се може повезати са полимерном природом једињења. Структурна анализа показује да се комплекс састоји од полимерног катјонског дела у коме је лиганд присутан у протонованој форми $(HL)^+$ и не координује се директно за $Hg(II)$ јон. Анјонски део представља полимерни хлоридни комплекс $Hg(II)$, у коме су $Hg(II)$ јони повезани хлоридним јонима у једнодимензионалну ланчану структуру. Хлоридни јони делују као мостовни лиганди, формирајући $Hg-Cl-Hg$ везе и градећи стабилан полимерни оквир у чврстом стању. Формирање бесконачних ланаца посредством хлоридних мостова доводи до изобличења координационог окружења $Hg(II)$ центра, што је у складу са флексибилном стереохемијом d^{10} система. TG анализа указује на задовољавајућу термичку стабилност, док IR спектри потврђују присуство азометинске групе и протонованог облика лиганда. Координациона хемија јона живе(II) привлачи пажњу због њене токсичности и способности формирања различитих структурних мотива. Органско–неоргански материјали комбинују својства обе компоненте у јединственом систему. Захваљујући формирању полимерних структура, њихова својства могу се подешавати избором метала, халогенида или лиганда. Добијени резултати показују да

синтетички приступ омогућава формирање стабилног координационог полимера дефинисане структуре, што потврђује потенцијал Шифових база у дизајну материјала на бази живе(II).

Кључне речи: Шифова база, жива(II) комплекс, 2,6-диацетилпиридин, координациони полимер, кристална структура.

Polymeric Mercury(II) Complex with a Schiff Base: Synthesis and Structural Analysis

Marijana S. Regojević¹, Ljiljana S. Vojinović Ješić, Marko V. Rodić¹ and Mirjana M. Radanović²

¹ University of Novi Sad, Faculty of Science, Novi Sad, Serbia

* marijana.kostic@dh.uns.ac.rs

Schiff bases are a class of organic compounds containing an azomethine group, readily formed by condensation of primary amines with carbonyl compounds and characterized by significant structural versatility that enables fine tuning of their coordination behavior. The aim of this study was the synthesis and structural characterization of a mercury(II) complex with a Schiff base ligand (L), as well as the investigation of its physicochemical properties and solid-state organization. The complex of the formula $[\text{HL}]_n[\text{HgCl}_3]_n$ was obtained by direct reaction of HgCl_2 and L in a 1:1 molar ratio, in the presence of acetone and methanol, at slightly elevated temperature, yielding orange crystals suitable for further analysis. The compound was characterized using infrared (IR) spectroscopy, molar conductivity measurements, thermogravimetric (TG) analysis and X-ray diffraction (XRD). Solubility studies indicate that the complex is insoluble in ethanol, acetonitrile, acetone and water, partially soluble in methanol, and readily soluble in dimethylformamide (DMF). The low molar conductivity in DMF solution indicates non-electrolytic behavior, which can be attributed to the polymeric nature of the compound and the absence of significant dissociation in solution. IR spectral analysis confirms characteristic shifts associated with the azomethine group, indicating its involvement in protonation and electronic redistribution within the system. Structural analysis reveals that the complex consists of a polymeric cationic part in which the ligand is present in its protonated form $(\text{HL})^+$ and does not directly coordinate to the Hg(II) ion, but is electrostatically stabilized within the crystal lattice. The anionic fragment corresponds to a polymeric mercury(II) chloride unit, in which Hg(II) ions are interconnected through chloride bridges, forming a onedimensional chain structure. Chloride ions act as bridging ligands, generating $\text{Hg}-\text{Cl}-\text{Hg}$ linkages and building a stable polymeric framework in the solid state. The asymmetric unit comprises the protonated ligand and a fragment of the one-dimensional $[\text{HgCl}_3]^-$ polymer. Thermogravimetric analysis indicates satisfactory thermal stability over a relatively broad temperature range, while XRD results confirm the formation of a well-defined crystalline phase consistent with the proposed structural model. The obtained results demonstrate that the applied synthetic approach leads to the formation of a stable coordination polymer with a well-defined structure, highlighting the relevance of Schiff base systems in the construction of mercury-based coordination assemblies with potential for further structural and property tuning.

Keywords: Schiff base, mercury(II) complex, coordination polymer, crystal structure, 2,6-diacetylpyridine.

Кристалографска и спектроскопска анализа комплекса злата(III) са 4-(2-аминоетил)пиридином

Тина Андрејевић^{1*}, Јакоб Кљун², Биљана Глишић¹, Изток Турел²
и Милош Ђуран³

¹ Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, Институт за хемију, Крагујевац, Србија

² Универзитет у Љубљани, Факултет за хемију и хемијску технологију, Љубљана, Словенија

³ Српска академија наука и уметности, Београд, Србија

* tina.andrejevic@pmf.kg.ac.rs

Откриће антитуморске активности цисплатине, $cis-[PtCl_2(NH_3)_2]$, означило је почетак модерне ере у развоју и клиничкој примени лекова на бази комплекса метала. Комплекси платине(II) се и даље широко користе у клиничкој пракси због доказане ефикасности према различитим типовима тумора. Међутим, упркос њиховом клиничком успеху, комплекси платине(II) не делују специфично на ћелије рака, већ негативно утичу и на друга здрава ткива, као што су она у коштаном сржи и гастроинтестиналном тракту. То доводи до изражених нежељених ефеката који ограничавају максималну дозу антитуморски активног комплекса која се може применити код пацијената. Поред тога, њихова терапијска ефикасност је често ограничена развојем како интринзичне тако и стечене резистенције, као и релативно уским спектром антитуморског деловања. Ова ограничења подстакла су све веће интересовање за дизајн нових лекова на бази комплекса других јона метала. Таква комплексна једињења могу испољавати алтернативне механизме деловања, побољшану селективност према туморским ћелијама, смањену токсичност и повећану активност према резистентним туморима, представљајући обећавајући правац у развоју нових антитуморских лекова. У последњим деценијама, значајна пажња посвећена је комплексима злата(III) као потенцијалним антитуморским агенсима. Ово интересовање произлази из чињенице да је $Au(III)$ јон изоелектронски са $Pt(II)$ јоном (d^8 електронска конфигурација). Поред тога, слично $Pt(II)$ јону, $Au(III)$ гради комплексе квадратно-планарне геометрије, те се сходно томе сматра да би комплекси злата(III) могли представљати добру алтернативу за комплексе платине(II). Један од могућих механизма антитуморске активности комплекса злата(III) може укључивати и њихову интеракцију са ДНК. Међутим, терапијска ефикасност ових једињења зависи и од њиховог афинитета везивања за протеине присутне у крвној плазми, који имају кључну улогу у њиховом транспорту до туморских ћелија и биорасположивости. Полидентатни лиганди (*N*-хетероциклична једињења) који у својој структури садрже азот, укључујући етилендиамин, фенантролин, диетилентриамин и терпиридин, показали су се као посебно ефикасни у повећању стабилности и потенцијалне биолошке активности комплекса злата(III). Имајући у виду наведено, у реакцији $K[AuCl_4]$ са еквимоларном количином 4-(2-аминоетил)пиридина (АЕР) у етанолу на собној температури синтетисан је нови комплекс злата(III). Кристали погодни за рендгенску структурну анализу добијени су спорим испаравањем из матичног етанолног раствора, чиме је омогућена детаљна структурна карактеризација комплекса. Добијени резултати су показали да је синтетисан динуклеаран комплекс, формуле $[Au_2Cl_5(АЕР-H)] \cdot C_2H_5OH$ (АЕР-Н представља депротоновани 4-(2-аминоетил)пиридин), у коме су молекули етанола, такође, присутни у кристалној решетци. Нађено је да депротоновани азот аминок групе додатно мостно повезује други

Au(III) јон, чиме се успоставља димерна структура комплекса. Поред рендгенске структуре, добијени комплекс је окарактерисан елементалном микроанализом, мерењем моларне проводљивости, спектроскопским методама (IR, ^1H и ^{13}C NMR, UV-Vis), као и електрохемијском методом (циклична волтаметрија). Стабилност синтетисаног комплекса злата(III) испитивана је применом UV-Vis спектрофотометрије, цикличне волтаметрије, као и мерењем моларне проводљивости, непосредно након растварања комплекса у одговарајућем растварачу, као и 24 и 48 h након растварања.

Кључне речи: злато(III) комплекси, ароматична *N*-хетероциклична једињења, рендгенска структурна анализа, спектроскопске методе.

Crystallographic and Spectroscopic Analysis of a Gold(III) Complex with 4-(2-Aminoethyl)Pyridine

Tina Andrejević^{1*}, Jakob Kljun², Biljana Glišić¹, Iztok Turel² and Miloš Djuran³

¹ University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Chemistry, Kragujevac, Serbia

² University of Ljubljana, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Ljubljana, Slovenia

³ Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia

* tina.andrejevic@pmf.kg.ac.rs

The discovery of the anticancer activity of cisplatin marked the beginning of the modern era in the development and clinical application of metallodrugs. Platinum-based drugs remain widely used in clinical practice due to their proven efficacy against a variety of tumors. However, these agents lack selectivity for cancer cells and affect rapidly dividing healthy tissues, such as those in the bone marrow and gastrointestinal tract, leading to severe dose-limiting side effects. In addition, their therapeutic efficacy is often compromised by the development of both intrinsic and acquired resistance, as well as by a relatively narrow spectrum of activity. These limitations have stimulated growing interest in the design of novel metallodrugs based on other transition metal ions. Such compounds may exhibit alternative mechanisms of action, improved selectivity toward malignant cells, reduced systemic toxicity, and enhanced activity against resistant tumors, thereby representing a promising direction in anticancer drug development. In recent decades, considerable attention has been devoted to gold(III) complexes as potential antitumor agents. This interest arises from the fact that the Au(III) ion is isoelectronic with the Pt(II) ion (d^8 electronic configuration). Moreover, similar to Pt(II), Au(III) readily forms four-coordinate square-planar complexes, which initially suggested that it could serve as an alternative with a comparable mode of anticancer action. One of the proposed mechanisms underlying the antitumor activity of gold(III) complexes involves their interaction with DNA. However, the overall therapeutic efficacy of such compounds also depends on their binding affinity toward plasma proteins, which play a key role in their transport and bioavailability. In this context, the stabilization of the Au(III) ion is of particular importance. Polydentate nitrogen-donor ligands, including ethylenediamine, phenanthroline, diethylenetriamine, terpyridine, and related aromatic *N*-heterocyclic compounds, have proven especially effective in enhancing the stability and potential biological activity of gold(III) complexes. Considering these facts, a new gold(III) complex was synthesized by reacting $\text{K}[\text{AuCl}_4]$ with an equimolar amount of 4-(2-aminoethyl)pyridine (AEP) in ethanol at room temperature. Crystals suitable

for single-crystal X-ray diffraction analysis were obtained by slow evaporation from the mother ethanolic solution, enabling detailed structural characterization of the complex. Single-crystal X-ray diffraction analysis revealed that the synthesized complex is dinuclear, with the general formula $[\text{Au}_2\text{Cl}_5(\text{AEP-H})]\cdot\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (AEP-H represents deprotonated 4-(2-aminoethyl)pyridine), with ethanol molecules also present as solvent in the crystal lattice. The AEP ligand acts as a bridging ligand between two Au(III) centers. It coordinates in a bidentate manner to one Au(III) ion through the pyridine nitrogen atom and the nitrogen atom of the deprotonated amino group. The deprotonated amino nitrogen further bridges to the second Au(III) ion, thereby linking the two metal centers into a dinuclear structure. The synthesized complex was structurally characterized by elemental analysis, molar conductivity measurements, spectroscopic methods (IR, ^1H and ^{13}C NMR, UV-Vis), and electrochemical methods (cyclic voltammetry). The stability of the synthesized gold(III) complex was investigated using UV-Vis spectrophotometry, cyclic voltammetry, and molar conductivity measurements, performed immediately after dissolution of the complex in the appropriate solvent, as well as 24 and 48 h after dissolution.

Keywords: gold(III) complexes, aromatic *N*-heterocyclic compounds, X-ray analysis, spectroscopic methods.

Кинетичка студија редукције никл(II)-оксида у атмосфери водоника

Дијана Јелић^{1*}, Драгана Гајић¹, Саша Зељковић¹, Драгољуб Мирјанић²
и Славко Ментус^{3,4}

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

³ Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију, Београд, Србија

⁴ Српска академија наука и уметности, Београд, Србија

* dijana.jelic@pmf.unibl.org

Редукција металних оксида с циљем добијања метала високе чистоће и функционалности је један од најважнијих потупака у металургији. Произведени материјали су своју примјену пронашли у: катализи, конверзији енергије, изради електронских уређаја, као и у аеронаутици. До сада су истраживања редукције металних оксида рађена при варијабилним условима и испитивана различитим инструменталним техникама. Због сложености механизма реакције, који укључује истовремене хемијске и дифузионе процесе, разумијевање кинетике један је од кључних корака у оптимизацији самог поступка. Циљ овог рада је испитивање кинетичких параметара и механизма реакције примјеном савремених инструменталних метода. Изотермална редукција никл(II)-оксида, синтетисаног сол-гел поступком, извођена је на 400 °C у атмосфери водоника, употребом симултане термогравиметријске анализе/диференцијално скенирајуће калориметрије (ТГ-ДСЦ). Карактеризација синтетисаног праха никл(II)-оксида вршена је употребом скенирајуће електронске микроскопије (СЕМ), док су кинетички параметри добијени

помоћу савременог кинетичког софтвера Kinetics2015, примјеном изоконверзионог и дискретног кинетичког модела. Термогравиметријска анализа је показала да је процес разлагања никл(II)-оксида једностепени процес, дешава се у интервалу од 225 °C до 475 °C, са падом масе приближно 81,3%, уз минималан заостатак кисеоника унутар кристалне решетке синтетисаног никла ($\approx 0,15$). Вриједност енергије активације добијене изоконверзионим кинетичким моделом износи 87 kJ/mol и остаје релативно константна са степеном конверзије, што самим тим потврђује да се реакција дешава у једном кораку и да је униформна. Упоредивањем експериментално добијене вриједности са фитованим кинетичким моделима, највеће слагањем је са н-тим редом реакције (78 kJ/mol) и моделом нуклеације и раста (74 kJ/mol). Веће одступање се јавило код дискретног кинетичког модела (102 kJ/mol). На основу датих података може се закључити да се механизам редукције никл(II)-оксида у атмосфери водоника одвија тако што на почетку настају мали центри нуклеације, који даљим током реакције расту и на крају добијамо агрегате чистог никла. Међутим, реакција је прилично хомогена и не дешавају се велике структурне промјене, што потврђују и СЕМ слике. Сви горе наведени резултати указују да је процес редукције могуће оптимизовати варијацијом параметара попут: температуре термалног третмана, атмосфере редукције, брзине протока гаса, али и примјеном нових техника и кинетичких модела у тумачењу добијених резултата. *Захвалница:* Д. Ј., С. М. и Д. М. су захвални АНУРС и САНУ за подршку кроз пројекат 451-03-137/2025-03/200146 и кроз САНУ пројекат F-190.

Кључне ријечи: никл(II)-оксид, редукција, ТГ-ДСЦ, СЕМ, кинетички модели, енергија активације.

Kinetic Study of Nickel(II) Oxide Reduction in a Hydrogen Atmosphere

Dijana Jelić^{*}, Dragana Gajić¹, Saša Zeljković¹, Dragoljub Mirjanić² and Slavko Mentus^{3,4}

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

³ University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Belgrade, Serbia

⁴ Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia

^{*} dijana.jelic@pmf.unibl.org

Reduction of metal oxides aimed at obtaining metals of high purity and functionality is one of the most important processes in metallurgy. The produced materials have found applications in catalysis, energy conversion, electronic device fabrication, and aeronautics. To date, studies on the reduction of metal oxides have been conducted under variable conditions and examined using different instrumental techniques. Due to the complexity of the reaction mechanism, which involves simultaneous chemical and diffusion processes, understanding the kinetics is one of the key steps in optimizing the process. The aim of this study is to investigate the kinetic parameters and reaction mechanism using modern instrumental methods. Isothermal reduction of nickel(II) oxide, synthesized via the sol–gel method, was carried out at 400 °C in a hydrogen atmosphere using simultaneous thermogravimetric analysis/differential scanning calorimetry (TG–DSC). Characterization of the synthesized nickel(II) oxide powder was performed using

scanning electron microscopy (SEM), while the kinetic parameters were obtained using the advanced kinetic software Kinetics2015, applying isoconversional and discrete kinetic models. Thermogravimetric analysis showed that the decomposition of nickel(II) oxide is a single-step process occurring in the temperature range of 225–475 °C, with a mass loss of approximately 81.3% and a minimal residual oxygen content within the crystal lattice of the synthesized nickel (≈ 0.15). The activation energy obtained using the isoconversional method is 87 kJ/mol and remains relatively constant with the degree of conversion, confirming that the reaction proceeds in a single step and is uniform. Comparison with fitted kinetic models shows the best agreement with the n-th order reaction model (78 kJ/mol) and the nucleation and growth model (74 kJ/mol), while greater deviation is observed for the discrete kinetic model (102 kJ/mol). Based on the obtained results, it can be concluded that the reduction mechanism of nickel(II) oxide in a hydrogen atmosphere involves the initial formation of small nucleation centers, which grow during the reaction and ultimately form agglomerates of pure nickel. However, the reaction remains relatively homogeneous without significant structural changes, as confirmed by SEM images. All the above results indicate that the reduction process can be optimized by varying parameters such as thermal treatment temperature, reduction atmosphere, gas flow rate, as well as by applying new techniques and kinetic models for interpreting the results. *Acknowledgements:* D. J., S. M., and D. M. acknowledge ANURS and SANU for support through project 451-03-137/2025-03/200146 and SANU project F-190.

Keywords: nickel(II) oxide, reduction, TG-DSC, SEM, kinetic models, activation energy.

Потенцијал за валоризацију римске троске из процеса прераде жељезне руде у Босни и Херцеговини

Оливера Керезовић^{1}, Љиљана Танкосић², Елвир Бабајић³, Анджеј Бјесикирски⁴, Анджеј Базјак⁵, Бартош Хандке⁵ и Сузана Готовац Атлагић⁶*

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Студијски програм Екологија и заштита животне средине, Бања Лука, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Бањој Луци, Рударски факултет, Приједор, Босна и Херцеговина

³ Универзитет у Тузли, Технолошки факултет, Студијски програм за рударство, геологију и грађевинарство, Тузла, Босна и Херцеговина

⁴ Универзитет АГХ у Кракову, Факултет за грађевинарство и управљање ресурсима, Краков, Пољска

⁵ Универзитет АГХ у Кракову, Факултет за науку о материјалима и керамику, Краков, Пољска

⁶ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Студијски програм Хемија, Бања Лука, Босна и Херцеговина

* olivera.kerezovic@student.pmf.unibl.org

У контексту актуелне кризе у одрживости ланаца минералних сировина у Европи и све веће исцрпљености примарних лежишта руде гвожђа, секундарне сировине попут историјске металуршке троске постају стратешки значајан ресурс. Историјски процеси топљења руде били су знатно мање ефикасни од савремених, што је резултовало одлагањем отпада који и даље садржи високе концентрације метала. Овај рад истражује по-

тенцијал за валоризацију римске троске на подручју Босне и Херцеговине, са посебним фокусом на ширу регију града Приједора. Циљ истраживања је био утврђивање хемијског и минералошког састава римске троске како би се процијенила њена употребљивост у оквиру кружне економије. С обзиром на то да се предвиђа исцрпљивање резерви руде у руднику жељеза у Омарској у наредним годинама, историјска троска може послужити као алтернативни извор гвожђа за жељезаре, које у модерним пећима већ користе 30–60% рециклажног материјала. Методологија рада обухватила је карактеризацију узорака коришћењем XRF и XRD метода ради дефинисања фазног састава и садржаја метала. Резултати сугеришу да се Fe фракција из троске може ефикасно издвојити и вратити у производни циклус, док се остатак материјала (алуносиликатна матрица) може валоризовати као сировина у грађевинској индустрији за производњу цемента или агрегата. Рад такође води и ка усклађености са европским регулативама, као што је Регулатива 2024/1252, која налаже обавезно испитивање критичних сировина у рударском отпаду и промовише њихову валоризацију. Валоризација римске троске не само да би допринијела смањењу деградације животне средине и количине рударског отпада, већ би и омогућила Босни и Херцеговини да задржи статус земље са значајним капацитетима за производњу гвожђа, смањујући зависност од увоза у условима глобалне нестабилности тржишта сировина. Истраживање је потврдило да овај историјски отпад представља вриједан економски ресурс који подржава принципе одрживог развоја и „Net Zero“ стратегије.

Кључне ријечи: валоризација, руда, гвожђе, одрживост, кружна економија.

Potential for Valorization of the Roman Slag from the Iron Ore Processing in Bosnia and Herzegovina

Olivera Kerezović^{1}, Ljiljana Tankosić², Elvir Babajić³, Andrzej Biessikirski⁴, Andrzej Baziak⁵, Bartoś Handkey⁵ and Suzana Gotovac Atlagić⁶*

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Department of Ecology and Environmental Protection, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

² University of Banja Luka, Faculty of Mining, Prijedor, Bosnia and Herzegovina

³ University of Tuzla, Faculty of Mining and Civil Engineering and Geology, Department of Geology, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

⁴ AGH University of Krakow, Faculty of Civil Engineering and Resource Management, Krakow, Poland

⁵ AGH University of Krakow, Faculty of Materials Science and Ceramics, Krakow, Poland

⁶ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Chemistry Department, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

* olivera.kerezovic@student.pmf.unibl.org

In the context of the current crisis in the sustainability of mineral resource chains in Europe and the increasing depletion of primary iron ore deposits, secondary raw materials such as historical metallurgical slag are becoming a strategically important resource. Historical ore smelting processes were significantly less efficient than modern ones, resulting in the disposal of waste that still contains high concentrations of metals. This paper investigates the potential for valorization of Roman slag in the territory of Bosnia and Herzegovina, with a special focus

on the wider region of the city of Prijedor. The aim of the research was to determine the chemical and mineralogical composition of Roman slag in order to assess its usability within the framework of a circular economy. Given that the ore reserves of the Omarska iron mine are expected to be depleted in the coming years, historical slag can serve as an alternative source of iron for ironworks, which already use 30–60% recycled material in modern furnaces. The methodology of the work included the characterization of samples using XRF and XRD methods to define the phase composition and metal content. The results suggest that the Fe fraction from the slag can be efficiently separated and returned to the production cycle, while the remaining material (aluminosilicate matrix) can be valorized as a raw material in the construction industry for the production of cement or aggregates. The work also leads to compliance with European regulations, such as Regulation 2024/1252, which mandates the mandatory testing of critical raw materials in mining waste and promotes their valorization. The valorization of Roman slag would not only contribute to reducing environmental degradation and the amount of mining waste, but would also enable Bosnia and Herzegovina to maintain its status as a country with significant iron production capacities, reducing its dependence on imports in the face of global raw material market instability. The research confirmed that this historical waste represents a valuable economic resource that supports the principles of sustainable development and the „Net Zero“ strategy.

Keywords: valorization, ore, iron, sustainability, circular economy.

Процјена степена загађења и поријекла потенцијално токсичних метала у седиментима ријеке Врбас

**Сања Пржуљ^{1*}, Горица Веселиновић², Сања Стојадиновић²,
Милица Кашанин-Грубин², Милица Балабан¹, Дејана Савић¹
и Бранимир Јованчићевић³**

¹ Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина

² Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Центар за хемију, Београд, Србија

³ Универзитет у Београду, Хемијски факултет, Београд, Србија

* sanja.sehovac@pmf.unibl.org

Ријека Врбас представља један од најважнијих екосистема у Босни и Херцеговини. Међутим, урбанизација заједно са растућим индустријским и пољопривредним активностима знатно је утицала на њен квалитет. Поред тога, ријека Врбас није пловна, али су дуж њеног цијелог тока изграђене саобраћајнице које такође имају утицај на овај екосистем. Потенцијално токсични метали у ријечним седиментима могу водити поријекло од природних геолошких процеса, као што су распадање стијена и ерозија, али могу бити и последица различитих антропогених активности. Стога је главни циљ овог истраживања био да се процијени антропогени утицај на акумулацију и дистрибуцију ових метала у седиментима ријеке Врбас. Узорци седимента прикупљени су са 17 ло-

калитета дуж приближно 250 km дугог тока ријеке током октобра и новембра 2021. године. Површински узорци седимента узорковани су до дубине од 10 cm и припремљени за анализу рендгенском флуоресцентном спектрометријом (XRF) примјеном методе мокрог сијања. Фракција седимента мања од 63 μm осушена је, хомогенизована са парафином и пресована у пелете за анализу. Антропогени допринос акумулацији потенцијално токсичних метала у седиментима процијењен је коришћењем неколико индекса загађења, укључујући индекс геоакумулације (I_{geo}), фактор контаминације (C_f) и индекс еколошког ризика (E_r). Добијени резултати показали су изражене просторне варијације концентрација потенцијално токсичних метала дуж ријечног тока. Према израчунатим индексима загађења, концентрације Pb биле су значајно веће у односу на концентрације Co, Cr, Cu, Ni, V и Zn. Вриједности I_{geo} за Pb кретале су се од 7,04 до 8,92, што је истраживане седimente сврстало у категорију екстремно контаминираних, док је Ni показао умјерену до јаку контаминацију са вриједностима I_{geo} до 1,97. Повишене вриједности I_{geo} и C_f за Ni, Cr и Zn нарочито су забиљежене у урбаној зони Бање Луке, указујући на значајан степен контаминације на неколико локалитета у овом дијелу ријеке. Највише вриједности C_f регистроване су за Pb, што потврђује веома висок степен контаминације у свим анализираним узорцима седимента. Насупрот томе, Co, Cr, Cu, V и Zn углавном су показивали низак до умјерен степен контаминације. Процјена еколошког ризика показала је изразито високе вриједности E_r за Pb, што указује на изузетно висок еколошки ризик повезан са овим елементом дуж цијелог испитиваног тока ријеке. Вриједности E_r за Co, Cr, Cu, Ni, V и Zn биле су знатно ниже и углавном су одговарале категоријама ниског или умјереног еколошког ризика. Добијени резултати јасно показују значајан утицај антропогених активности на квалитет седимента у ријеци Врбас и наглашавају потребу за континуираним мониторингом животне средине, мјерама контроле загађења и одрживим стратегијама управљања ријечним сливом усмјереним на очување акватичних екосистема у Босни и Херцеговини.

Кључне ријечи: Врбас, потенцијално токсични метали, антропогени утицај, рендгенска флуоресцентна анализа (XRF).

Assessment of Degree Contamination and Origin of Potentially Toxic Metals in Sediments of the Vrbas River

Sanja Pržulj^{1*}, Gorica Veselinović², Sanja Stojadinović², Milica Kašanin-Grubin², Milica Balaban¹, Dejana Savić¹ and Branimir Jovančičević³

¹ University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

² University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Center of Chemistry, Belgrade, Serbia

³ University of Belgrade, Faculty of Chemistry, Belgrade, Serbia

* sanja.sehovac@pmf.unibl.org

The Vrbas River represents one of the most important and valuable freshwater ecosystems in Bosnia and Herzegovina. However, urbanization together with increasing industrial and agricultural activities has considerably affected its quality. Furthermore, the Vrbas River is

not navigable, but transport routes have been built along its entire course, which also have an impact on this ecosystem. Potentially toxic metals in river sediments may originate from natural geological processes such as weathering and erosion, but they can also derive from various anthropogenic sources. Therefore, the main objective of this study was to assess the anthropogenic influence on the accumulation and distribution of these metals in sediments of the Vrbas River. Sediment samples were collected from 17 locations along the approximately 250 km long river course during October and November 2021. Surface sediment samples were collected to a depth of 10 cm and prepared for X-ray fluorescence (XRF) analysis using the wet sieving method. The sediment fraction smaller than 63 μm was dried, homogenized with paraffin, and pressed into pellets for analysis. The anthropogenic contribution to heavy metal accumulation in sediments was evaluated using several pollution indices, including the geoaccumulation index (I_{geo}), contamination factor (C_f), and ecological risk index (E_r). The obtained results revealed pronounced spatial variations in heavy metal concentrations along the river course. According to the calculated pollution indices, Pb concentrations were significantly higher than those of Co, Cr, Cu, Ni, V, and Zn. I_{geo} values for Pb ranged from 7.04 to 8.92 which classified the investigated sediments as extremely contaminated, while Ni showed moderate to strong contamination with I_{geo} values up to 1.97. Increased I_{geo} and C_f values for Ni, Cr, and Zn were particularly observed within the urban zone of Banja Luka, indicating a considerable degree of contamination at several locations within this section of the river. The highest C_f values were recorded for Pb, confirming a very high degree of contamination in all analyzed sediment samples. In contrast, Co, Cr, Cu, V, and Zn generally showed low to moderate contamination levels. Ecological risk assessment revealed extremely elevated E_r values for Pb, indicating an extremely high ecological risk associated with this element throughout the investigated river course. In comparison, E_r values for Co, Cr, Cu, Ni, V, and Zn were considerably lower and corresponded mostly to low or moderate ecological risk categories. Overall, the obtained results clearly demonstrate the significant impact of anthropogenic activities on sediment quality in the Vrbas River and emphasize the necessity for continuous environmental monitoring, pollution control measures, and sustainable river basin management strategies aimed at preserving aquatic ecosystems in Bosnia and Herzegovina.

Keywords: Vrbas River, potentially toxic metals, anthropogenic impact, XRF.

Уклањање органске материје током електропреципитације струвита

Наташа Дудуковић^{1}, Анита Леовац Маћерак¹, Наташа Слијепчевић¹,
Драгана Жмукић¹ и Ђурђа Керкез¹*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију,
биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

* natasa.varga@dh.uns.ac.rs

Електропреципитација струвита представља перспективан приступ у третману отпадних вода, јер омогућава истовремени опоравак нутријената и смањење органског оптерећења. Рекулперација нутријената, посебно фосфора као критичног и ограниченог ресурса, има

велики значај за развој циркуларне економије и одрживе пољопривреде. Са друге стране, уклањање органских материја важно је ради смањења негативног утицаја отпадних вода на животну средину и водене екосистеме. У овом раду испитан је утицај времена третмана и густине струје током електропреципитације струвита на уклањање органске материје из отпадне воде, изражене кроз хемијску и биохемијску потрошњу кисеоника (ХПК и БПК₅). Експерименти су спроведени у лабораторијским условима уз варирање густине струје (10, 20 и 30 A/m²) и времена третмана (30 min, 1 h и 1,5 h). Резултати показују да повећање густине струје значајно унапређује ефикасност уклањања органске материје. Вредност ХПК се смањује са почетног нивоа од 176 mg/l на свега неколико mg/l, при чему се при највишој густини струје постиже потпуна елиминација. Истовремено, вредности БПК₅ опадају са 78,4 mg/l на ниво испод 4 mg/l, што указује на ефикасно уклањање биоразградивих органских материја. Продужетак времена третмана додатно доприноси смањењу концентрације органске материје, потврђујући значај кинетике процеса. Уочено побољшање уклањања органске материје може се довести у везу са комбинованим ефектима електрокоагулације и преципитације, при чему долази до дестабилизације и агрегације колоидних и растворених органских материја, као и њихове адсорпције на формиране честице струвита. Повећањем густине струје интензивирају се електрохемијски процеси на електродама, што додатно доприноси ефикасности уклањања и указује на синергистички ефекат између опоравка нутријената и редукције органског оптерећења. Добијени резултати потврђују да електропреципитација струвита, осим што омогућава опоравак нутријената, представља ефикасан приступ за уклањање органске материје из отпадних вода. Оптимизација оперативних параметара, пре свега густине струје и времена третмана, има кључну улогу у унапређењу перформанси процеса. Овакав приступ представља потенцијално одрживо решење које интегрише третман отпадних вода и валоризацију ресурса у складу са принципима циркуларне економије. *Захвалница:* Истраживања је финансирао Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (Ев. бр. 451-03-33/2026-03/ 200125 и 451-03-34/2026-03/ 200125).

Кључне речи: електропреципитација струвита, опоравак фосфора, уклањање органске материје, циркуларна економија.

Organic Matter Removal during Struvite Electroprecipitation

Nataša Duduković^{1*}, Anita Leovac Maćerak¹, Nataša Slijepčević¹, Dragana Žmukić¹ and Đurđa Kerkez¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

* natasa.varga@dh.uns.ac.rs

Struvite electroprecipitation represents a promising approach in wastewater treatment, as it enables simultaneous nutrient recovery and reduction of organic load. Nutrient recovery, particularly phosphorus as a critical and limited resource, is of great importance for the development of a circular economy and sustainable agriculture. On the other hand, the removal of organic matter is essential for reducing the negative impact of wastewater on the environment

and aquatic ecosystems. This study investigates the effect of treatment time and current density during struvite electroprecipitation on the removal of organic matter from wastewater, expressed as chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD₅). Experiments were conducted under laboratory conditions by varying current density (10, 20, and 30 A/m²) and treatment time (30 min, 1 h, and 1.5 h). The results show that increasing current density significantly enhances the removal efficiency of organic matter. COD decreases from an initial value of 176 mg/l to only a few mg/l, with complete removal achieved at the highest current density. At the same time, BOD₅ is reduced from 78.4 mg/l to below 4 mg/l, indicating effective removal of biodegradable organic matter. Extending the treatment time further contributes to the reduction of organic load, highlighting the importance of process kinetics. The observed improvement in organic matter removal can be attributed to the combined effects of electrocoagulation and precipitation, leading to destabilization and aggregation of colloidal and dissolved organic compounds, as well as their adsorption onto the formed struvite particles. Increasing current density intensifies electrochemical reactions at the electrodes, further enhancing removal efficiency and indicating a pronounced synergistic effect between nutrient recovery and organic load reduction. The findings confirm that struvite electroprecipitation not only enables nutrient recovery but also represents an effective approach for organic matter removal from wastewater. Optimization of operational parameters, particularly current density and treatment time, plays a key role in improving process performance. This approach represents a sustainable solution that integrates wastewater treatment and resource recovery within the framework of circular economy principles. *Acknowledgement:* This research was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (No. 451-03-33/2026-3/200125 and 451-03-34/2026-03/200125)

Keywords: struvite electroprecipitation, phosphorus recovery, organic matter removal, circular economy.

Употреба лимунске киселине у циљу поспјешења анаеробне дигестије и квалитета дигестата

Драгана Жмукић^{1}, Ђурђа Керкез¹, Наташа Дудуковић¹ и
Анита Леовац Маћерак¹*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију,
биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

* dragana.zmukic@dh.uns.ac.rs

Анаеробна дигестија (АД) представља одрживу технологију за истовремену производњу биогаса као обновљивог извора енергије и стабилизованог дигестата са потенцијалном примјеном у пољопривреди. У циљу повећања приноса биогаса и побољшања квалитета дигестата примјењују се различити поступци који често укључују употребу потенцијално штетних хемикалија или високу енергетску потрошњу. Посебан изазов у анаеробној дигестији представља осјетљивост микробиолошке заједнице на поремећаје процесне равнотеже. Циљ ове студије био је испитивање ефекта примјене лимунске киселине, као еколошки прихватљивог адитива, на унапређење анаеробне дигестије муља и квалитета

добитог дигестата. Муљ из постројења за пречишћавање отпадних вода (ППОВ), коришћен је као супстрат, док је супернатант служио као инокулум. Експеримент је спроведен у серијским реакторима запремине 300 mL (радна запремина 150 mL), при мезофилним условима (37 °C), уз примјену пет различитих доза лимунске киселине (0,02–0,1 g/g укупних чврстих материја). Продукција биога са праћена је волуметријском методом током десет дана, односно до престанка издвајања гаса. Производња метана достигла је 28,5 mL CH₄/g испарљивих чврстих материја, у контролној групи, док је највиши принос од 73,8 mL CH₄/g испарљивих чврстих материја, забиљежен при највишој дози лимунске киселине. Анализа дигестата показала је да контролни узорак има најповољнији однос угљеника и азота (C/N). У односу на контролни узорак (C/N = 8,18), даље повећање дозе лимунске киселине довело је до смањења C/N односа у осталим узорцима. Иако ово може представљати специфичности при примјени у пољопривреди, то не значи нужно негативан утицај на микроорганизме у земљишту. Ефекат оваквог дигестата примарно зависи од иницијалног квалитета и типа земљишта, као и нутритивних захтјева конкретних биљних култура које ће се гајити. *Захвалница:* Истраживања је финансирао Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (Ев. бр. 451-03-33/2026-03/ 200125 и 451-03-34/2026-03/ 200125).

Кључне ријечи: микроорганизми, муљ, лимунска киселина, биога, ђубрива.

Use of Citric Acid to Improve Anaerobic Digestion and Digestate Quality

Dragana Žmukić¹*, Đurđa Kerkez¹, Nataša Duduković¹ and Anita Leovac Maćerak¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental protection, Novi Sad, Serbia

* dragana.zmukic@dh.uns.ac.rs

Anaerobic digestion (AD) is a sustainable technology for the production of biogas as a renewable energy source and stabilized digestate suitable for agricultural applications. To achieve high biogas yields and improve digestate quality, various enhancement strategies have been applied; however, these often involve the use of potentially harmful chemicals or are not energy-efficient. A key challenge of anaerobic digestion remains the sensitivity of the microbial community, which governs all process phases and is highly susceptible to process imbalance. The aim of this study was to explore the effect of citric acid as an environmentally friendly additive on improving anaerobic sludge digestion and the quality of the obtained digestate. Sludge generated at wastewater treatment plants (WWTPs), often considered a by-product with limited use, was utilized as the substrate, while the supernatant served as the inoculum. Batch anaerobic digestion experiments were conducted in 300 mL bottles with a working volume of 150 mL under mesophilic conditions (37 °C). Five different doses of citric acid were applied (ranging from 0.02–0.1 g/g total solids). Biogas production was monitored using the volumetric method over ten days, or until gas evolution ceased. Methane production reached 28 mL CH₄/g volatile solids in the control group, while the highest yield of 73.8 mL CH₄/g volatile solids was recorded at the highest dose of citric acid. Compared to the control sample (C/N = 8.18), further increase in the dose of citric acid led to a decrease in the C/N ratio in other samples. Although

this alters its chemical characteristics, it does not necessarily imply a negative impact on soil microorganisms. Instead, the applicability of the obtained digestate will highly depend on the specific soil quality and characteristics, as well as the nutrient requirements of the target crops. *Acknowledgement:* This research was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (No. 451-03-33/2026-3/200125 and 451-03-34/2026-03/200125)

Keywords: microorganisms, sludge, citric acid, biogas, fertilizers.

Процена цитотоксичног и генотоксичног потенцијала бутилованог хидроксианизола *in vitro*

**Мила Костић^{1*}, Јелена Филиповић Тричковић¹, Маријана Јанић¹,
Ксенија Радошевић¹, Тамјана Момић¹, Милош Тошић¹ и
Ана Валента Шобот¹**

¹ Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“ – Национални институт Републике Србије, Београд, Србија

* kostic.mila@vin.bg.ac.rs

Бутиловани хидроксианизол (ВНА) је синтетички фенолни антиоксиданс који се широко користи као конзерванс захваљујући израженој способности да инхибира оксидацију липида и одржава стабилност производа. У великој мери се примењује у конзервисању прехранбених производа, фармацеутских препарата и козметичких производа ради спречавања оксидативне деградације липида и других осетљивих компоненти, што изазива забринутост због континуиране изложености људи путем више различитих путева. Широка употреба ВНА и стална изложеност људи довеле су до континуираних научних и регулаторних расправа у вези са његовом безбедношћу. Европска агенција за безбедност хране (EFSA) сматра ВНА безбедним у козметичким формулацијама у дозвољеним концентрацијама, док га Америчка агенција за храну и лекове (FDA) класификује као супстанцу која је општепризнато безбедна за употребу у храни у прописаним границама. Међутим, експериментални резултати из литературе указују на потенцијалне биолошке ефекте при вишим концентрацијама и различитим начинима изложености. Поред тога, због његове употребе у више фаза производње, прераде и паковања хране, кумулативна изложеност може повећати вероватноћу прекорачења прихватљивог дневног уноса. То је довело до појачаног интересовања за његове потенцијалне цитотоксичне и генотоксичне ефекте. Циљ овог истраживања био је да се процене цитотоксични и генотоксични ефекти различитих концентрација ВНА које могу бити присутне у производима намењеним људској употреби у складу са важећим регулаторним ограничењима. Као експериментални модел коришћене су мононуклеарне ћелије периферне крви човека (PBMCs). Цитотоксичност у широком опсегу концентрација испитивана је применом ХТТ теста вијабилности ради утврђивања утицаја ВНА на преживљавање ћелија. На основу добијених резултата одабране су нецитотоксичне концентрације за даљу анализу. Генотоксични потенцијал и пролиферативна способност PBMC ћелија процењивани

су применом теста микронуклеуса са блокадом цитокинезе (CBMN), који омогућава детекцију хромозомских оштећења. Индекс пролиферације са блокадом цитокинезе (CBPI) израчунат је ради процене могућих ефеката на кинетику ћелијске деобе и цитостатичку активност. ВНА је изазвао концентрационо зависну цитотоксичност, при чему је изражено смањење вијабилности ћелија уочено при концентрацијама од 200 μM и вишим, што указује на јасан дозно зависан ефекат на метаболичку активност ћелија. На основу ових налаза, концентрација од 50 μM одабрана је као највиша концентрација за процену генотоксичности. Код РВМС ћелија учесталост микронуклеуса показала је тренд повећања почев од концентрације 20 μM и била је најизраженија при 50 μM , иако ове промене нису достигле статистичку значајност у експерименталним условима. Вредности CBPI остале су углавном стабилне након 24-часовне изложености у свим испитиваним концентрацијама, што указује да ВНА није значајно утицао на пролиферацију ћелија у испитиваном опсегу концентрација. У целини посматрано, резултати указују да цитотоксични ефекти ВНА постају израженији при вишим концентрацијама, док ниже концентрације могу изазвати суптилне генотоксичне одговоре без значајног утицаја на пролиферацију. Ови налази наглашавају значај даљих истраживања ради разјашњења механизма оштећења изазваних ВНА и бољег дефинисања потенцијалних ризика по здравље људи повезаних са изложеношћу овом широко коришћеном адитиву. *Захвалница:* Овај рад је подржало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (бројеви уговора: 451-03-136/2025-03/200017 и 451-03-3627/2025-03/3456).

Кључне речи: бутиловани хидроксианизол (ВНА), генотоксичност, цитотоксичност, тест микронуклеуса, мононуклеарне ћелије периферне крви човека (PBMCs).

Assessment of the Cytotoxic and Genotoxic Potential of Butylated Hydroxyanisole *in vitro*

Mila Kostić^{1*}, Jelena Filipović Tričković¹, Marijana Janić¹, Ksenija Radošević¹, Tatjana Momić¹, Miloš Tošić¹ and Ana Valenta Šobot¹

¹ University of Belgrade, "VINČA" Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, Belgrade, Serbia

* kostic.mila@vin.bg.ac.rs

Butylated hydroxyanisole (BHA) is a synthetic phenolic antioxidant widely used as a preservative with the strong ability to inhibit lipid oxidation and maintain product stability. It is extensively used in the conservation of food, pharmaceuticals, and cosmetic products to prevent oxidative degradation of lipids and other sensitive components, which raises concerns regarding continuous human exposure through multiple routes. The widespread use of BHA and continuous human exposure have raised ongoing scientific and regulatory concerns regarding its safety. The European Food Safety Authority (EFSA) considers BHA safe in cosmetic formulations at permitted concentrations, while the U.S. Food and Drug Administration (FDA) classifies it as generally recognized as safe for use in food within specified limits. However, experimental results in the literature indicate potential biological effects at higher concentrations and under different modes of exposure. Furthermore, due to its use at multiple stages of food production, processing, and packaging, cumulative exposure may increase the likelihood of exceeding

the acceptable daily intake. This has caused increasing attention to its potential cytotoxic and genotoxic effects. The aim of this study was to evaluate the cytotoxic and genotoxic effects of a range of BHA concentrations that may be present in products for human use according to current regulatory limits. Human peripheral blood mononuclear cells (PBMCs) were used as the experimental model. Cytotoxicity over a wide concentration range was assessed using the XTT viability assay to determine the effects of BHA on cell survival. Based on these results, non-cytotoxic concentrations were selected for further analysis. Genotoxic potential and proliferative capacity in PBMCs were evaluated using the micronucleus cytokinesis-block test (CBMN), which enables the detection of chromosomal damage. The cytokinesis-block proliferation index (CBPI) was calculated to assess potential effects on cell division kinetics and cytostatic activity. BHA induced concentration-dependent cytotoxicity, with a pronounced reduction in cell viability observed at concentrations of 200 μM and higher, indicating a clear dose-related effect on cellular metabolic activity. Based on these findings, 50 μM was selected as the highest concentration for genotoxicity assessment. In PBMCs, micronucleus frequency showed an increasing trend starting at 20 μM and was most pronounced at 50 μM , although these changes did not reach statistical significance under the experimental conditions. CBPI values remained largely stable following 24 hour exposure across all tested concentrations, suggesting that BHA did not significantly affect cell proliferation within the tested concentration range. Overall, the results suggest that cytotoxic effects of BHA become more pronounced at higher concentrations, while lower concentrations may induce subtle genotoxic responses without marked effects on proliferation. These findings highlight the importance of further studies to clarify the pathways of BHA-induced damage and better define the potential human health risks associated with exposure to this widely used additive. *Acknowledgements:* This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grant no. 451-03-136/2025-03/200017 and 451-03-3627/2025-03/3456).

Keywords: butylated hydroxyanisole (BHA), genotoxicity, cytotoxicity, micronucleus assay, human peripheral blood mononuclear cells (PBMCs).

Утицај времена екстракције на фитохемијски скрининг и антиоксидативну активност жалфије применом дубоких еутектичких растварача

**Маријана Јанић^{1*}, Мила Костић¹, Ксенија Радошевић¹,
Ана Валента Шобот¹, Тамјана Момић¹ и Јелена Филиповић Тричковић¹**

¹ Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“ – Национални институт
Републике Србије, Београд, Србија

* marijana.janic@vin.bg.ac.rs

Жалфија (*Salvia officinalis* L.), врста из породице Lamiaceae, интензивно је проучавана због својих разноврсних биолошких активности и богатог фитохемијског састава. Бројна истраживања показала су да жалфија испољава широк спектар фармаколошких ефеката,

укључујући антиоксидативно, антиинфламаторно, антимикробно, антидијабетичко и антитуморско дејство, као и својства која доприносе побољшању когнитивних функција. Ови ефекти се у великој мери приписују високом садржају полифенолних једињења. Посебно се истиче као значајан извор фенолних киселина и флавоноида, при чему су деривати кафеинске киселине, нарочито рузмаринска киселина, међу најзаступљенијим компонентама. Друга значајна једињења обухватају фенолне дитерпене, као што су карнозинска киселина и карнозол, као и флавоноиде, укључујући лутеолин, апигенин, кемпферол и кверцетин, заједно са њиховим гликозидним дериватима. Растуће интересовање за ова једињења довело је до интензивнијих истраживања ефикасних метода екстракције. Конвенционалне технике екстракције најчешће користе органске раствараче попут метанола, али је њихова примена ограничена због токсичности и негативног утицаја на животну средину. Због тога је пажња усмерена ка развоју еколошки прихватљивијих алтернатива. Дубоки еутектички растварачи (DES) издвојили су се као перспективна класа зелених екстракционих медијума. Ови системи се најчешће формирају комбиновањем донора и акцептора водоничних веза, при чему је холин-хлорид најчешћи акцептор, што доводи до формирања течности јединствених физичко-хемијских својстава. DES се одликују ниском токсичношћу, биоразградивошћу, економичношћу и једноставном припремом, што их чини погодним кандидатима за одрживу екстракцију биоактивних једињења из биљних матрица. У овом раду за екстракцију биоактивних једињења из жалфије коришћен је дубоки еутектички растварач на бази холин-хлорида и урее (ChCl:U, моларни однос 1:2) са 10 % (m/m) воде. Утицај времена екстракције испитиван је поређењем два услова: 60 и 90 минута (означени као ChCl:U-60 и ChCl:U-90). Добијени екстракти анализирали су на укупан садржај фенола (TPC), укупан садржај танина (TTC) и укупан садржај флавоноида (TFC). Поред тога, антиоксидативна активност процењена је применом DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилхидразил) и ABTS (2,2'-азино-бис(3-етилбензотиазолин-6-сулфонска киселина)) тестова уклањања слободних радикала. Резултати су показали да је екстракт ChCl:U-60 имао веће вредности TPC, TTC и TFC у поређењу са екстрактом ChCl:U-90. У складу са тим, DPPH тест је показао већу антиоксидативну активност екстракта добијеног краћим временом екстракције, док код екстракта ChCl:U-90 није уочена активност према DPPH радикалу. Такође, у ABTS тесту екстракт ChCl:U-60 показао је нижу IC_{50} вредност, што указује на већи антиоксидативни капацитет. Смањен садржај полифенолних једињења и ослабљена антиоксидативна активност уочени код екстракта ChCl:U-90 највероватније су последица деградације фитоконституената током продужене екстракције. У целини посматрано, ови резултати указују на потенцијал дубоког еутектичког растварача на бази холин-хлорида и урее као одрживе и ефикасне алтернативе за екстракцију природних производа високе вредности из жалфије, чиме се доприноси развоју зелених екстракционих технологија у прехранбеној, фармацеутској и нутрацеутској индустрији. *Захвалница:* Ово истраживање подржало је Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (бр. пројеката 451-03-33/2026-03/200017 и 451-03-3627/2025-03/3456).

Кључне речи: антиоксиданс, дубоки еутектички растварач, полифеноли, жалфија.

Impact of Extraction Time on Phytochemical Screening and Antioxidant Activity of Sage Using Deep Eutectic Solvent

**Marijana Janić^{1*}, Mila Kostić¹, Ksenija Radošević¹, Ana Valenta Šobot¹,
Tatjana Momić¹ and Jelena Filipović Tričković¹**

¹ University of Belgrade, „VINČA“ Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the
Republic of Serbia, Belgrade, Serbia

* marijana.janic@vin.bg.ac.rs

Sage (*Salvia officinalis* L.), a member of the Lamiaceae family, has been extensively investigated due to its diverse biological activities and rich phytochemical composition. Numerous studies have demonstrated that sage exhibits a broad spectrum of pharmacological effects, including antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, antidiabetic, and anticancer activities, as well as cognitive-enhancing properties. These effects are largely attributed to its high content of polyphenolic compounds. In particular, sage is recognized as a significant source of phenolic acids and flavonoids, with caffeic acid derivatives—especially rosmarinic acid—being among the most abundant constituents. Other notable compounds include phenolic diterpenes such as carnosic acid and carnosol, as well as flavonoids including luteolin, apigenin, kaempferol, and quercetin, along with their glycosidic derivatives. The growing interest in these compounds has led to increased research on efficient extraction methods. Conventional extraction techniques commonly employ organic solvents such as methanol; however, their use is limited by toxicity concerns and environmental impacts. As a result, attention has shifted toward the development of greener alternatives. Deep eutectic solvents (DESs) have emerged as a promising class of environmentally friendly extraction media. These systems are typically formed by combining a hydrogen-bond donor and a hydrogen-bond acceptor, most commonly choline chloride, resulting in a liquid with unique physicochemical properties. DESs are characterized by low toxicity, biodegradability, cost-effectiveness, and ease of preparation, making them suitable candidates for the sustainable extraction of bioactive compounds from plant matrices. In this study, a choline chloride–urea DES (ChCl:U, 1:2 molar ratio) with 10% (w/w) water was employed for the extraction of bioactive compounds from sage. The influence of extraction time was evaluated by comparing two conditions: 60 and 90 minutes (denoted as ChCl:U-60 and ChCl:U-90, respectively). The resulting extracts were analyzed for total phenolic content (TPC), total tannin content (TTC), and total flavonoid content (TFC). In addition, antioxidant activity was assessed using DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) radical scavenging assays. The results indicated that the ChCl:U-60 extract exhibited higher TPC, TTC, and TFC values compared to the ChCl:U-90 extract. Consistently, the DPPH assay revealed greater antioxidant activity for the extract obtained at the shorter extraction time, whereas the ChCl:U-90 extract showed no detectable activity against the DPPH radical. Furthermore, in the ABTS assay, the ChCl:U-60 extract demonstrated a lower IC₅₀ value, indicating superior antioxidant capacity. The reduced levels of polyphenolic compounds and diminished antioxidant activity observed in the ChCl:U-90 extract are likely attributable to the degradation of phytoconstituents during prolonged extraction. Overall, these findings highlight the potential of choline chloride–urea DES as a sustainable and effective alternative for the extraction of high-value natural products from sage, contributing to the advancement of green extraction technologies in food, pharmaceutical, and

nutraceutical applications. *Acknowledgements:* This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grant no. 451-03-33/2026-03/ 200017 and 451-03-3627/2025-03/3456).

Keywords: antioxidant, deep eutectic solvent, polyphenols, sage.

Зелени дубоки еутектички растварач на бази холин-хлорида и малонске киселине: оптимизација синтезе и процена цитотоксичности

Ксенија Радосевић^{1*}, Мила Костић¹, Маријана Јанић¹, Милош Тошић¹, Снежана Брковић¹, Ана Валента Шобот¹ и Јелена Филиповић Тричковић¹

¹ Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“ – Национални институт Републике Србије, Београд, Србија

* ksenija.radosevic@vin.bg.ac.rs

Дубоки еутектички растварачи (DES) представљају иновативну класу „зелених“ растварача са значајним потенцијалом за одрживе хемијске и биомедицинске примене. Састоје се од две или више компоненти – акцептора водоничне везе (HBA) и донора водоничне везе (HBD) – чијим се комбиновањем у одређеним моларним односима формирају смеше са нижом тачком топљења у поређењу са појединачним компонентама. Захваљујући једноставној синтези, ниској токсичности и доброј биокомпатибилности, DES се све више истражују као еколошки прихватљива алтернатива конвенционалним растварачима у процесима екстракције биоактивних једињења из биљака, формулације активних супстанци и синтезе функционалних материјала. Међутим, моларни односи појединачних компоненти у смеси утичу на физичко-хемијска својства DES-а, као што су стабилност, тачка топљења, вискозност и растворљивост, што може утицати и на њихове биолошке ефекте. Малонска киселина (МА) представља ефикасан донор водоничне везе који у комбинацији са холин-хлоридом (ChCl), као акцептором водоничне везе, формира вискозан биоразградив растварач ChCl:МА. Међутим, подаци из литературе у погледу моларних односа коришћених за формирање овог DES-а нису у потпуности усаглашени. Поред тога, малонска киселина повећава ниво антиоксидативних ензима путем активације фактора Nrf2 (енгл. *Nuclear factor erythroid 2-related factor 2*), смањује продукцију реактивних врста кисеоника (ROS) и упалне процесе, док холин-хлорид доприноси очувању интегритета ћелијске мембране, епигенетској регулацији и метаболизму липида. Због тога ChCl:МА представља перспективан нови растварач за различите биомедицинске примене. Ипак, неопходно је оптимизовати моларни однос за синтезу стабилног ChCl:МА система и одредити безбедан опсег концентрација за његову биомедицинску примену. Циљ овог рада био је да се одреди оптималан моларни однос за синтезу ChCl:МА и испита његов цитотоксични профил на хуманој В-лимфобластоидној ћелијској линији ТК6, која се сматра златним стандардом за токсиколошка испитивања *in vitro*. ChCl:МА је синтетисан комбиновањем ChCl и МА у три различита моларна односа – 1:1, 1:2 и 2:1 – на магнетној мешалици до формирања провидних течности, а затим је

окарактерисан инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом (FTIR). Процена цитотоксичности извршена је применом ХТТ теста након 24-часовног третмана одабраним DES-овима у концентрационом опсегу од 0,1 до 2 mg/mL. Резултати су показали да су ChCl:MA системи у моларним односима 1:1 и 1:2 формирали стабилне провидне течности, док комбиновање компоненти у односу 2:1 није довело до формирања DES-а. FTIR спектри потврдили су да водоничне везе доминирају у молекулској структури система ChCl:MA 1:1 и 1:2, за разлику од формулације 2:1. Испитивање цитотоксичности показало је да формулације 1:1 и 1:2 нису испољиле значајан цитотоксични ефекат до концентрације од 1 mg/mL. Виша концентрација од 2 mg/mL изазвала је благо смањење вијабилности код формулације 1:1, док је код формулације 1:2 ефекат био израженији, са око 70% преживелих ћелија. Додатно, ChCl:MA у моларном односу 1:1 при концентрацијама до 0,8 mg/mL довео је до повећања вијабилности ћелија, што указује на његов потенцијални заштитни ефекат. Закључно, добијени резултати указују да је моларни однос кључни фактор који одређује и стабилност и биолошки одговор ChCl:MA система. Ови налази доприносе избору оптималних моларних односа током припреме дубоких еутектичких растварача и постављају основу за њихову безбедну примену у будућим биомедицинским истраживањима и применама. *Захвалница:* Ово истраживање подржало је Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (бр. пројекта 451-03-33/2026-03/200017 и 451-03-3627/2025-03/3456).

Кључне речи: дубоки еутектички растварачи, малонска киселина, холин-хлорид, цитотоксичност, ТК6.

Green Deep Eutectic Solvent Based on Choline Chloride and Malonic Acid: Synthesis Optimization and Cytotoxic Evaluation

**Ksenija Radošević¹*, Mila Kostić¹, Marijana Janić¹, Miloš Tošić¹,
Snežana Brković¹, Ana Valenta Šobot¹ and Jelena Filipović Tričković¹**

¹ University of Belgrade, "VINČA" Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, Belgrade, Serbia

* ksenija.radosevic@vin.bg.ac.rs

Deep eutectic solvents (DES) represent an innovative class of "green" solvents with significant potential for sustainable chemical and biomedical applications. They consist of two or more components, hydrogen bond acceptor (HBA) and a hydrogen donor (HBD), whose combination at specific molar ratios forms mixtures with a lower melting point compared to the individual components. Thanks to their simple synthesis, low toxicity and good biocompatibility, DESs are increasingly being explored as environmentally friendly alternatives to conventional solvents in the processes of extraction of bioactive compounds from plants, formulation of active substances and synthesis of functional materials. However, molar ratios of the individual components in the mixture influence the DESs physico-chemical properties, such as stability, melting point, viscosity, and solubility, which might affect their biological effects. Malonic acid (MA) is an effective HBD that, combined with choline chloride (ChCl) as a HBA, forms a viscous biodegradable solvent, ChCl:MA, but the literature data regarding molar ratios used for the DES formation remains ambiguous. Additionally, MA increases the levels of the antioxidant enzymes through the activation of Nuclear factor erythroid 2-related factor 2 (Nrf2), decreases

reactive oxygen species (ROS) production and inflammation, while ChCl contributes to the preservation of the cell membrane integrity, epigenetic regulation, and lipid metabolism, making the ChCl:MA a promising novel solvent for various biomedical applications. However, the molar ratio for the synthesis of stable ChCl:MA should be optimized, and the safety window for its biomedical application should be determined. Therefore, the aim of the present study was to determine the optimal molar ratio for synthesis of ChCl:MA and examine its cytotoxic profile on the human B-lymphoblastoid cell line TK6, which is used as the gold standard for the *in vitro* toxicological studies. ChCl:MA was synthesized by combining ChCl and MA in three different molar ratios – 1:1, 1:2 and 2:1 on a magnetic stirrer until a transparent liquids are formed, and characterized by Fourier-Transform Infrared spectroscopy (FTIR). The cytotoxicity assessment was performed by XTT assay upon 24-hour treatment with selected DESs, at the concentration range from 0.1–2 mg/mL. The results showed that the ChCl:MA at the molar ratios of 1:1 and 1:2 produced stable transparent liquids, while combining the individual components at the molar ratio of 2:1 didn't lead to the formation of DES. FTIR spectra confirmed that hydrogen bonds prevail in the molecular structure of both 1:1 and 1:2 ChCl:MA, in contrast to 2:1 formulation. The cytotoxicity assessment revealed that both 1:1 and 1:2 formulations didn't exhibit significant cytotoxic effect up to 1 mg/mL. Higher concentration of 2 mg/mL induced minor viability reduction for 1:1, and more pronounced, up to 70% of viable cells, for 1:2 ChCl:MA. Additionally, 1:1 ChCl:MA at the concentrations up to the 0.8 mg/mL lead to increased cell viability, highlighting its potential protective effect. In conclusion, the obtained results highlight the molar ratio as a critical determinant of both the stability and biological response of the ChCl:MA system. These findings contribute to the selection of molar ratios during DESs preparation, and also establish a foundation for safe implementation of DESs in future biomedical applications. *Acknowledgements:* This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grant no. 451-03-33/2026-03/ 200017 and 451-03-3627/2025-03/3456).

Keywords: deep eutectic solvents, malonic acid, choline chloride, cytotoxicity, TK6.

Дизајн, синтеза и биолошка евалуација нових андростанских хидразоно-хидразидних деривата као инхибитора AKR1C3

**Ђорђе Јанковић^{1*}, Софија Бекић¹, Маја Мариновић², Марина Савић¹,
Анђелка Ћелић², Edward Petri² и Јована Ајдуковић¹**

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за биологију и екологију, Нови Сад, Србија

* djordje.jankovic@dh.uns.ac.rs

Стероиди представљају велику класу секундарних метаболита који имају важну улогу у регулацији разних сигналних путева, ћелијској пролиферацији, те учествују у развоју разних патолошких стања, укључујући и канцер. Алдо-кето редуктазе (AKRs) су NAD-(P)-зависне оксидоредуктазе које играју кључну улогу у метаболизму стероида, проста-

гландина и разних ксенобиотика, укључујући и лекове. Ензим AKR1C3 је високо експримиран у разним типовима тумора и има значајну улогу у резистенцији канцера на терапију и метаболизму стероидних хормона, због чега представља значајну мету у развоју антиканцерских лекова. Насупрот томе, AKR1C4 је претежно присутан у здравим ткивима, нарочито у јетри, где учествује у детоксикацији ксенобиотика. Хидразоно-хидразида група позната је по широком спектру биолошке активности, укључујући и антитуморско дејство. Стога је циљ овог рада био синтеза нових андростанских хидразоно-хидразида у положају 17 стероидног језгра и испитивање њиховог потенцијала као инхибитора AKR1C3. Циљна једињења синтетизована су коришћењем тиокарбохидразида и фенилтиосемикарбазида, при чему је модификација у положају 17 одабрана као погодна за структурну оптимизацију стероидног скелета. Инхибиторна активност према AKR1C3 испитана је *in vitro* рекомбинантним ензимским есејем, док је селективност процењена у односу на AKR1C4. Оба једињења показала су умерену до добру инхибиторну активност према AKR1C3, док је једињење са фенилтиосемикарбазонским супституентом показало израженију селективност. Добијени резултати указују да синтетизована једињења представљају водеће структуре за даљи развој инхибитора AKR1C3.

Кључне речи: стероиди, хидразиди, докинг анализа, алдо-кето редуктазе, антиканцер.

Design, Synthesis and Biological Evaluation of Novel Androstane Hydrazono-Hydrazide Derivatives as AKR1C3 Inhibitors

Dorđe Janković¹*, Sofija Bekić¹, Maja Marinović², Marina Savić¹, Anđelka Čelić², Edward Petri² and Jovana Ajduković¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Biology and Ecology, Novi Sad, Serbia

* djordje.jankovic@dh.uns.ac.rs

Steroids represent a large class of secondary metabolites that play an important role in the regulation of various signaling pathways, cell proliferation, and are involved in the development of numerous pathological conditions, including cancer. Aldo-keto reductases (AKRs) are NAD(P)-dependent oxidoreductases that play a key role in the metabolism of steroids, prostaglandins, and various xenobiotics, including drugs. The enzyme AKR1C3 is expressed in various tumor types and plays a significant role in cancer therapy resistance and the metabolism of steroid hormones, making it an important target in the development of anticancer agents. In contrast, AKR1C4 is predominantly present in healthy tissues, particularly in the liver, where it participates in the detoxification of xenobiotics. Hydrazono-hydrazide moieties are known for their broad spectrum of biological activities, including antitumor effects. Therefore, the aim of this study was the synthesis of novel androstane hydrazono-hydrazide derivatives at position 17 of the steroid nucleus and the evaluation of their potential as AKR1C3 inhibitors. The target compounds were synthesized using thiocarbohydrazide and phenylthiosemicarbazide, with modification at position 17 selected as suitable for structural optimization of the steroid scaffold. The inhibitory activity was evaluated *in vitro* using a recombinant AKR1C3 enzyme

assay, while selectivity was assessed in relation to AKR1C4. Both compounds exhibited moderate to good inhibitory activity against AKR1C3, whereas the compound bearing a phenylthiosemicarbazone substituent showed enhanced selectivity. The obtained results indicate that the synthesized compounds represent promising lead structures for the further development of AKR1C3 inhibitors.

Keywords: steroids, hydrazides, docking analysis, aldo-keto reductases, anticancer.

Испитивање фотокатализе ципрофлоксацина у присуству MgAl превлака допираних са ZnO и CeO₂

Душица Јовановић^{1}, Маја Шћепановић², Мирјана Грујић-Бројчин²,
Стеван Стојадиновић³, Даниела Шојић Меркулов¹, Сабољч Богнар¹
и Нина Финчур¹*

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

² Универзитет у Београду, Институт за физику, Центар за физику чврстог стања и нове материјале, Београд, Србија

³ Универзитет у Београду, Физички факултет, Београд, Србија

* dusica.jovanovic@dh.uns.ac.rs

Ципрофлоксацин (ЦИП) је хинолонски антибиотик који се у медицини користи за лијечење бактеријских инфекција уринарног и респираторног тракта. Међутим, након излучивања, он доспијева у водене системе путем отпадних вода, непромијењен или у виду метаболита. Његово акумулирање у природним водама може узроковати развој отпорности бактерија на антибиотике, што отежава лијечење инфекција, због чега је проналажење зелених и одрживих технологија за санацију вода од изузетног значаја. Као еколошки прихватљив процес, фотокатализа је погодна за уклањање загађујућих материја, попут антибиотика, из водене средине. У присуству зрачења и катализатора, бројне реактивне врсте, које се формирају, активно учествују у уклањању споменутих загађујућих материја и њиховој могућој минерализацији до CO₂, H₂O и одговарајућих неорганских јона. Међутим, кључно ограничење фотокатализе – раздвајање након процеса – често је узрок за губитак фотокатализатора. Новији приступ фотокатализи зато подразумева развој фотокатализатора у виду превлака, чиме се превазилазе проблеми традиционалних фотокатализатора у праху, јер се на овај начин смањује сложеност руковања, а истовремено повећава ефикасност процеса и проширује спектар за практичну примјену. Због своје мале густине, механичке чврстоће и нетоксичности, легуре магнезијума чест су избор материјала за инертне подлоге. Додатак ZnO и CeO₂, као јефтиних нетоксичних полупроводника са пожељним оптичким својствима у УВ/блиском видљивом опсегу, доприноси бољој фотокаталитичкој активности насталог хетерогеног катализатора. Стога је у овом истраживању испитана ефикасност уклањања ЦИП (0,05 mmol/dm³) из водене средине, током 120 min симулираног сунчевог зрачења (CC3), у присуству пет MgAl превлака допираних са ZnO и CeO₂. Превлаке су биле припремљене

електролитичком оксидацијом плазмом у алуминатном електролиту. Сви експерименти фоторазградње били су изведени у шаржном фотореактору са ксенонском лампом као извором ССЗ, а за праћење ефикасности разградње ЦИП коришћен је течни хроматограф са флуоресцентним детектором. Додатно, количина јона насталих у току процеса хетерогене фотокатализе ЦИП у присуству три фотокаталитички најактивније превлаке: MgAl-1 (0 g/dm³ ZnO, 0 g/dm³ CeO₂), MgAl-4 (6 g/dm³ ZnO, 2 g/dm³ CeO₂) и MgAl-5 (6 g/dm³ ZnO, 4 g/dm³ CeO₂), била је одређена на јонском хроматографу. Добијени резултати показали су да је примјеном еколошки прихватљиве хетерогене фотокатализе, након 120 min озрачивања из водене средине било уклоњено 80–94% антибиотика ЦИП у присуству свих пет MgAl превлака допираних ZnO и CeO₂. Испитивањем поновљивости употребе превлаке MgAl-4 утврђено је да је иста задржала свој интегритет и након три узастопна фотокаталитичка циклуса (94→75→64%). За крај, резултати јонске хроматографије потврдили су издвајање нитрата, нитрита, флуорида, формијата и ацетата након 120 min озрачивања воденог раствора ЦИП, што је било у складу са структуром молекула ЦИП и доказ његове успјешне разградње. *Захвалница:* Истраживања је финансирао Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (Ев. бр.

Кључне ријечи: ципрофлоксацин, фотокатализа, електролитичка оксидација плазмом, MgAl превлака.

Exploring the Photocatalytic Fate of Ciprofloxacin in the Presence of ZnO and CeO₂-Doped MgAl Coatings

Dušica Jovanović^{1*}, Maja Šćepanović², Mirjana Grujić-Brojčin², Stevan Stojadinović³, Daniela Šojić Merkulov¹, Sabolč Bognar¹ and Nina Finčur¹

¹ University of Novi Sad Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

² University of Belgrade, Institute of Physics, Center for Solid State Physics and New Materials, Belgrade, Serbia

³ University of Belgrade, Faculty of Physics, Belgrade, Serbia

* dusica.jovanovic@dh.uns.ac.rs

Ciprofloxacin (CIP) is a quinolone antibiotic used in medicine to treat bacterial infections of the urinary and respiratory tracts. However, after excretion, it reaches water systems via wastewater, either unchanged or as metabolites. Its accumulation in natural waters can cause the development of antibiotic resistance in bacteria, making it difficult to treat infections, which is why finding green and sustainable technologies for water remediation is of utmost importance. As an environmentally friendly process, photocatalysis is suitable for the removal of pollutants, such as antibiotics, from the aquatic environment. In the presence of radiation and a catalyst, the numerous reactive species that are formed actively participate in the removal of the aforementioned pollutants and their possible mineralization to CO₂, H₂O and the corresponding inorganic ions. However, a key limitation of photocatalysis – post-process separation – is often the cause of photocatalyst loss. A newer approach to photocatalysis therefore involves the development of photocatalysts in the form of coatings, which overcomes the problems of traditional powder photocatalysts, as this reduces the complexity of catalyst handling, while

at the same time increases the efficiency of the process and expands the spectrum for practical application. Due to their low density, mechanical strength and non-toxicity, magnesium alloys are a common choice of material for inert supports. The addition of ZnO and CeO₂, as inexpensive non-toxic semiconductors with desirable optical properties in the UV/near visible range, contributes to better photocatalytic activity of the resulting heterogeneous catalyst. Therefore, in this study, the efficiency of CIP removal (0.05 mmol/dm³) from an aqueous medium was investigated during 120 min of simulated solar irradiation (SSI) in the presence of five MgAl coatings doped with ZnO and CeO₂. The coatings were prepared by plasma electrolytic oxidation in aluminate electrolyte. All photodegradation experiments were performed in a batch photoreactor with a xenon lamp as the SSI source, while a liquid chromatograph with a fluorescence detector was used to monitor the efficiency of CIP degradation. Additionally, the quantity of ions formed during the heterogeneous photocatalysis of CIP in the presence of the three most photocatalytically active coatings: MgAl-1 (0 g/dm³ ZnO, 0 g/dm³ CeO₂), MgAl-4 (6 g/dm³ ZnO, 2 g/dm³ CeO₂) and MgAl-5 (6 g/dm³ ZnO, 4 g/dm³ CeO₂), was determined on an ion chromatograph. The results obtained showed that by using eco-friendly heterogeneous photocatalysis, after 120 min of irradiation, 80–94% of the antibiotic CIP was removed from the aqueous medium in the presence of all five MgAl coatings doped with ZnO and CeO₂. Reutilization of the MgAl-4 coating showed that the coating retained its integrity even after three consecutive photocatalytic cycles (94→75→64%). Finally, the results of ion chromatography confirmed the formation of nitrate, nitrite, fluoride, formate and acetate ions after 120 min of irradiation of the aqueous CIP solution, which was consistent with the structure of the CIP molecule and evidence of its successful degradation. *Acknowledgments:* The authors acknowledge the financial support of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grant Numbers:

Keywords: ciprofloxacin, photocatalysis, plasma electrolytic oxidation, MgAl coatings.

Утицај масене концентрације Pd/TiO₂ фотокатализатора на ефикасност уклањања флуоресцеина и генерисање водоника у присуству симулираног сунчевог зрачења

Теодора Видовић¹, Ивана Басарић¹ и Немања Банић^{1*}

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

* nemanja.banic@dh.uns.ac.rs

Интензивна употреба фосилних горива доводи до значајних негативних утицаја на животну средину, укључујући емисију гасова са ефектом стаклене баште, што доприноси климатским променама и глобалном загревању. Због наведених негативних утицаја, јавља се потреба за развојем и применом алтернативних извора енергије као замене за фосилна горива. Водоник се сматра чистим и перспективним извором енергије. Фотокатализа омогућава његову производњу коришћењем сунчеве енергије, без стварања штетних производа, што овај процес чини одрживим и еколошки прихватљивим. Са друге стране,

вода се широко примењује у различитим индустријским процесима, међутим интензивна индустријализација доводи до повећане производње отпадних вода које садрже токсичне загађујуће материје, као што су органске боје. С обзиром на дуготрајне штетне ефекте ових загађујућих материја на животну средину и здравље људи, неопходно је њихово ефикасно уклањање. Стога постоји све већа потреба за развојем савремених, економично исплативих и еколошки прихватљивих метода за пречишћавање отпадних вода. Међу напредним методама, фотокаталитичка разградња привлачи значајну пажњу због своје способности да разгради различите загађујуће материје до једноставнијих и мање штетних једињења. Фотокатализа, као процес који користи зрачење и фотокатализатор за убрзавање хемијских реакција, представља ефикасан приступ за уклањање органских боја из отпадних вода. У овом раду коришћени фотокатализатор синтетисан је методом фотохемијске редукције Pd на комерцијалном TiO_2 , при масеном односу Pd: TiO_2 од 2,5% (w/w). Испитана је фотокаталитичка ефикасност овог фотокатализатора са различитим масеним концентрацијама за уклањање флуоресцеина и генерисање водоника под дејством симулираног сунчевог зрачења (ССЗ). Масене концентрације фотокатализатора коришћене за уклањање флуоресцеина биле су у опсегу од 0,17 до 3,33 g/dm³. Кинетика уклањања флуоресцеина праћена је фотометријски. Током уклањања флуоресцеина праћена је и промена рН вредности коришћењем комбиноване стаклене електроде. Под утицајем ССЗ, за све испитиване масене концентрације 2,5%Pd/ TiO_2 остварен је приближно исти степен разградње (~93%), након 180 минута. За најоптималнију масену концентрацију утврђена је вредност од 0,17 g/dm³, јер се постиже иста ефикасност уклањања флуоресцеина при коришћењу мање количине катализатора (93,52%). Почетне рН вредности испитиваних суспензија налазиле су се у опсегу од 5,88 до 6,26, а након 180 минута уклањања рН вредности су биле у опсегу од 4,87 до 6,37. Испитана је и ефикасност адсорпције флуоресцеина, при чему је ефикасност варијала од 0% за масену концентрацију од 0,17 g/dm³ до 18,86% за масену концентрацију од 3,33 g/dm³. Масене концентрације фотокатализатора коришћене за генерисање водоника кретале су се у опсегу од 0,06 g/dm³ до 0,15 g/dm³. За праћење ефикасности генерисања водоника коришћена је гасна хроматографија са детектором топлотне проводљивости. Највећу брзину генерисања водоника показао је 2,5%Pd/ TiO_2 при масеној концентрацији од 0,06 g/dm³ (8,44 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ H}_2$), док су остале масене концентрације показале нижу брзину генерисања у интервалу од 300 минута. Ово указује да даље повећање масене концентрације не доводи до побољшања ефикасности генерисања водоника.

Кључне речи: фотокатализа, генерисање водоника, симулирано сунчево зрачење, паладијум, флуоресцеин.

Influence of the Mass Concentration of Pd/TiO₂ Photocatalyst on the Efficiency of Fluorescein Removal and Hydrogen Generation under Simulated Solar Radiation

Teodora Vidović¹, Ivana Basarić¹ and Nemanja Banić^{1}*

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

* nemanja.banic@dh.uns.ac.rs

The intensive use of fossil fuels leads to significant negative impacts on the environment, including the emission of greenhouse gases, which contributes to climate change and global warming. Due to the aforementioned negative impacts, there is a need to develop and apply alternative energy sources as a replacement for fossil fuels. Hydrogen is considered a clean and promising energy source. Photocatalysis allows its production using solar energy, without the creation of harmful by-products, which makes this process sustainable and environmentally friendly. On the other hand, water is widely used in various industrial processes; however, intensive industrialization leads to increased production of wastewater containing toxic pollutants, such as organic dyes. Given the long-term harmful effects of these pollutants on the environment and human health, their effective removal is necessary. Therefore, there is a growing need to develop modern, cost-effective and environmentally friendly methods for wastewater treatment. Among the advanced methods, photocatalytic degradation has attracted significant attention due to its ability to degrade various pollutants into simpler and less harmful compounds. Photocatalysis, as a process that uses radiation and a photocatalyst to accelerate chemical reactions, is an effective approach for removing organic dyes from wastewater. In this study, the photocatalyst used was synthesized by the photochemical reduction of Pd on commercial TiO₂, with a Pd:TiO₂ mass ratio of 2.5% (w/w). The photocatalytic efficiency of this photocatalyst with different mass concentrations for fluorescein removal and hydrogen generation under simulated solar radiation (SSR) was tested. The mass concentrations of the photocatalyst used for fluorescein removal ranged from 0.17 to 3.33 g/dm³. The kinetics of fluorescein removal were monitored photometrically. During fluorescein removal, the change in pH value was also monitored using a combined glass electrode. Under the influence of SSR, all tested mass concentrations of 2.5%Pd/TiO₂ achieved approximately the same degradation degree (~93%) after 180 minutes. The most optimal mass concentration was determined to be 0.17 g/dm³, as it achieves the same fluorescein removal efficiency (93.52%) using a smaller amount of catalyst. The initial pH values of the tested suspensions ranged from 5.88 to 6.26, while after 180 minutes of removal, the pH values ranged from 4.87 to 6.37. The efficiency of fluorescein adsorption was also examined, with efficiency ranging from 0% at a mass concentration of 0.17 g/dm³ to 18.86% at a mass concentration of 3.33 g/dm³. The mass concentrations of the photocatalysts used for hydrogen generation ranged from 0.06 to 0.15 g/dm³. Gas chromatography with a thermal conductivity detector was used to monitor the hydrogen generation efficiency. The highest hydrogen generation rate was observed for 2.5%Pd/TiO₂ at a mass concentration of 0.06 g/dm³ (8.44 μmol h⁻¹ g⁻¹ H₂), while the other mass concentrations exhibited lower generation rates over a 300 minutes interval. This indicates that further increasing the mass concentration does not contribute to improving hydrogen generation efficiency.

Keywords: photocatalysis, hydrogen generation, simulated solar radiation, palladium, fluorescein.

Утицај фотокаталитичких фактора и воденог матрикса на ефикасност уклањања ЕЕ2 у присуству зелених ZnO наночестица

Сабољч Богнар^{1*}, Весна Деспотовић¹, Нина Финчур¹, Душица Јовановић¹ и Даниела Шојић Меркулов¹

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија

* sabolc.bognar@dh.uns.ac.rs

Загађивање вода са перзистентним органским полутантима представља један од највећих глобалних изазова. 17 α -етинилестрадиол (ЕЕ2) припада ендокриним дисрупторима и испољава токсично дејство на живе организме. Циљ овог истраживања је испитивање фотокаталитичке активности новосинтетисаних зелених ZnO наночестица на бази екстракта комине грожђа у разградњи ЕЕ2 применом симулираног сунчевог зрачења (ССЗ). Највећа фотокаталитичка активност је постигнута при масеној концентрацији од 0,5 mg/cm³ у базној средини (pH ~10), при чему је разграђено ~90% ЕЕ2 након 120 min ССЗ. Такође, експерименти изведени у води из реке Тисе, при најбољим фотокаталитичким условима, показали су нижу ефикасност, тј. уклоњено је ~30% ЕЕ2 након 120 min ССЗ, што се може приписати присуству неорганских јона, нарочито SO₄²⁻ и NO₃⁻. *Захвалница:* Истраживање је финансирао Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (ев. бр. 451-03-33/2026-03/ 200125 и 451-03-34/2026-03/ 200125).

Кључне речи: загађивање вода, хетерогена фотокатализа, зелени наноматеријали, 17 α -етинилестрадиол, речна вода.

Effect of Operating Conditions and Water Matrix on EE2 Photocatalytic Degradation Efficiency Using Green ZnO Nanoparticles

Szabolcs Bognár^{1*}, Vesna Despotović¹, Nina Finčur¹, Dušica Jovanović¹ and Daniela Šojić Merkulov¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

* sabolc.bognar@dh.uns.ac.rs

Water pollution, by persistent pollutants, represents one of the greatest global challenges. 17 α -ethinylestradiol (EE2), a synthetic hormone, belongs to endocrine disruptors and exhibits toxic effects on living organisms. The aim of this study was to investigate the photocatalytic activity of green ZnO nanoparticles synthesized using grape pomace extract in the degradation of EE2 under simulated solar radiation (SSI). The highest photocatalytic activity was achieved at catalyst loading of 0.5 mg/cm³ and in alkaline medium (pH ~10), where ~90% of EE2 was degraded after 120 min of SSI. Experiments conducted in water from Tisa River, under the previously established optimal conditions, showed lower efficiency with ~30% of EE2

removed after 120 min of SSI, due to the presence of inorganic ions, particularly SO_4^{2-} and NO_3^- . *Acknowledgments*: Financed by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/ 200125 & 451-03-34/2026-03/ 200125).

Keywords: water pollution, heterogeneous photocatalysis, green nanomaterials, 17 α -ethinylestradiol, river water.

Утицај различитих експерименталних параметара на ефикасност фотокаталитичке разградње глифосата применом новосинтетисаних ZnO наночестица

Катарина Хаинз^{1*}, Сабољч Богнар¹ и Даниела Шојић Меркулов¹

¹ Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Нови Сад, Србија

* katarina.hainz@dh.uns.ac.rs

Експанзија индустрије и развој пољопривреде су важни фактори који су довели до загађења водених ресурса. Циљ овог рада био је испитивање фотокаталитичке активности зелено синтетисаних ZnO наночестица, добијених употребом екстракта биљке *Inula helenium*, у разградњи глифосата (ГЛИ) под симулираним сунчевим зрачењем (ССЗ). Највећа фотокаталитичка активност постигнута је при масеној концентрацији катализатора од 1,0 mg/cm³ и при рН-вредности ~7, где је након 60 min успешно разграђено 49% ГЛИ. При испитивању механизма самог процеса, уочено је да позитивне шупљине имају доминантну улогу. Испитана је и поновљивост новосинтетисаног фотокатализатора, при чему је након три узастопна експериментална циклуса уочен пад фотокаталитичке активности. *Захвалница*: Истраживање је финансирало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (ев. бр. 451-03-33/2026-03/ 200125 и 451-03-34/2026-03/ 200125).

Кључне речи: хетерогена фотокатализа, глифосат, зелена синтеза, *Inula helenium*, симулирано сунчево зрачење.

Influence of Different Experimental Parameters on the Efficiency of Photocatalytic Degradation of Glyphosate Using Green-Synthesized ZnO Nanoparticles

Katarina Hainz^{1*}, Szabolcs Bognár¹ and Daniela Šojić Merkulov¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad, Serbia

* katarina.hainz@dh.uns.ac.rs

In recent decades, the expansion of industry and agricultural development is one of the important factors that have caused the pollution of water resources. The aim of this study was to investigate the photocatalytic activity of green ZnO nanoparticles synthesized using *Inula helenium* plant extract in the degradation of glyphosate (GLY) under simulated solar radiation (SSI). The highest photocatalytic activity was achieved at catalyst loading of 1.0 mg/cm³ and at pH ~7, where 49% of GLY was degraded after 60 min. When the reaction mechanism was investigated, it can be concluded that positive holes play the dominant role. The reusability of the newly synthesized photocatalyst was also investigated, and after three consecutive experimental cycles, a decrease in the photocatalytic activity was observed. *Acknowledgments:* Financed by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-33/2026-03/ 200125 and 451-03-34/2026-03/ 200125).

Keywords: heterogeneous photocatalysis, glyphosate, green synthesis, *Inula helenium*, simulated solar irradiat

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

5(048.3)(0.034.2)

НАУЧНА конференција са међународним учешћем Примат 30
(2026 ; Бања Лука)

Примат 30 / Зборник сажетака научне конференције са
међународним учешћем = Primat 30 ; Book of abstracts of the
conference with international participation ; [уредник Татјана
Попов]. - Onlajn izd. - Banja Luka : Prirodno-matematički fakultet,
2026

Način pristupa (URL):

<https://blupress.unibl.org/pmf/catalog/book/182>. - Насл. са насл.
екрана. - "Научна конференција 'Примат 30' организована је од
10-12. септембра 2026. године поводом обиљежавања 30 година
рада Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој
Луци"--> импресум. - Опис извора дана 7.09.2026. - Ел.
публикација у ПДФ формату опсега 232 стр.

ISBN 978-99976-86-33-6

COBISS.RS-ID 144762625



30 ГОДИНА
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БАЊОЈ ЛУЦИ