

# ECOLOGICA

UDC:502.7

ISSN 0354 - 3285

No - 99 • Beograd, 2020. • Godina XXVII

Samo u pretplati



Izdavači

Naučno-stručno Društvo za zaštitu  
životne sredine Srbije "ECOLOGICA"

# ECOLOGICA

Osnivač i izdavač

NAUČNO-STRUČNO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE SRBIJE - ECOLOGICA

Publisher

SCIENTIFIC PROFESSIONAL SOCIETY FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION OF SERBIA - ECOLOGICA

Za izdavača: Emeritus prof. dr Larisa Jovanović, Predsednik Društva ECOLOGICA

Suizdavač Institut opšte i fizičke hemije / Co-publisher Institute of General and Physical Chemistry

Glavni urednik / Editor in chief: Emeritus prof. dr Larisa Jovanović

## Odgovorni urednici / Associate editors

- Prof. dr Vidojko Jović, redovni član SANU, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu  
Prof. dr Slavko Mentus, redovni član SANU, Fakultet za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu  
Prof. dr Dragan Veselinović, Fakultet za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu  
Prof. dr Vladan Joldžić, Institut za kriminološka i sociološka istraživanja, Beograd

## Međunarodni uređivački odbor / International Editorial board

- Prof. dr Vadim Ermakov, GEOHI RAS, Moscow, RF  
Prof. dr Sergej Ostroumov, MSU "Lomonosov", RF  
Prof. dr Vyacheslav Zaitsev, Astrakhan University, RF  
Dr Vladimir Safonov, GEOHI RAS, Moscow, RF  
Prof. dr Alexandr Syso, Institute of Soil Science and Agrochemistry, RAS, Novosibirsk, RF  
Prof. dr Elena Ponomarenko, Faculty of Political Economy, Peoples Friendship University, Moscow, RF  
Prof. dr Jaume Bech Borrás, Barcelona, Spain  
Prof. dr Srdjan Redzepagic, Univ. Sophia Antipolis, France  
Prof. dr Bekmamat Djenbaev, Institute of Biology and Pedology, Bishkek, Kirgizstan  
Prof. dr Mihail Panin, Astana, Kazahstan  
Prof. dr Neven Duić, University of Zagreb, Croatia  
Prof. dr Igor Stubelj, Univ. of Primorska, Koper, Slovenia  
Prof. dr Petar Hristov, Free University Varna, Bulgaria  
Prof. dr Anna Nedyalkova, Free University Varna, Bulgaria  
Prof. dr habil Galya Gercheva, Free Univ. Varna, Bulgaria  
Assoc. prof. dr Anelia Nenova, Free Univ. Varna, Bulgaria  
Prof. dr Velizara Pencheva, University of Ruse, Bulgaria  
Prof. dr Hristo Beloev, University of Ruse, Bulgaria  
Prof. dr Atanas Atanasov, University of Ruse, Bulgaria  
Assoc. prof. dr Margarita Filipova, Univ. Ruse, Bulgaria  
Dr Franz Brandstätter, Naturhistorisches Museum, Wien, Austria  
MSc Isabel Airas, Climate-KIC, Germany  
Dr Agni Vliavianos-Arvanitis, Biopolitics, Athens, Greece  
Dr Svetlana Jovanović, Tulsa University, OK, USA  
Prof. dr Valentin Vladut, Bucharest, Romania  
Prof. dr Sorin Bungescu, Timisoara, Romania  
Prof. dr Nataša Markovska, ICEIM-MANU, North Macedonia  
Prof. dr Nedim Suljić, University of Tuzla, BiH

## Uređivački odbor / Editorial board

- Emeritus profesor dr Hasan Hanić, BBA, Beograd  
Emeritus prof. dr Života Radosavljević, Univerzitet UNT  
Prof. dr Jozefina Beke Trivunac, ALFA BK Univerzitet, Beograd  
Prof. dr Miljana Barjaktarović, ALFA BK Univerzitet, Beograd  
Prof. dr Boško Jovanović, Matematički fakultet BU, Beograd  
Dr Dragica Stanković, Institut za multidiscipl. ist., Beograd  
Dr Stevan Blagojević, IOFH, Beograd  
Prof. dr Vladimir Tomašević, FIM, Univerzitet UNT, Beograd  
Prof. dr Nebojša Denić, ALFA BK Univerzitet, Beograd  
Prof. dr Olja Munitlak Ivanović, PMF, Novi Sad  
Dr Jovan Zubović, Institut ekonomskih nauka, Beograd  
Dr Ivan Stošić, Institut ekonomskih nauka, Beograd  
Prof. dr Dejan Filipović, Geografski fakultet, BU, Beograd  
Prof. dr Vesela Radović, Institut za multidiscipl. ist., Beograd  
Prof. dr Milan Radosavljević, FPSP, Univerzitet UNT, Beograd  
Prof. dr Ljubinko Jovanović, Univ. EDUKONS, S. Kamenica  
Prof. dr Maja Anđelković, FSOM, Univerzitet UNT, Beograd  
Prof. dr Mario Lukinović, Pravni fakultet Univ. Union, Beograd  
Prof. dr Đorđe Jovanović, FIM, Univerzitet UNT, Beograd  
Prof. dr Dragan Jovašević, Pravni fakultet, Niš  
Prof. dr Antonije Onjia, TMF BU, Beograd  
Prof. dr Miloš Pavlović, Ekonomski fakultet, K. Mitrovica  
Prof. dr Jasmina Madžgalj, Gradska Uprava, Beograd  
Prof. dr Zoran Čajka, FEFA, Univ. Metropolitan, Beograd  
Doc. dr Dragan Živković, ALFA BK Univerzitet, Beograd  
Prof. dr Aleksandar Prnjat, ALFA BK Univerzitet, Beograd  
Prof. dr Višeslav Hadži-Tanović, Akademija SKAIN, Beograd  
Prof. dr Vera Petrović, VIŠER, Beograd  
Dr Ivan Pavlović, Naučni institut za veterinarstvo, Beograd  
Dr Dušan Stojadinović, Institut "Jaroslav Černi", Beograd

## Izdavački savet / Publisher board

- Prof. dr Dejan Erić, Beogradska Bankarska Akademija  
Milorad Panjević, Alfa BK Univerzitet, Beograd  
Prof. dr Aleksandar Andrejević, Univ. Edukons, S. Kamenica  
Danica B. Karić, docent, Alfa BK Univerzitet, Beograd  
Marko Babović, JP Elektroprivreda Srbije, Beograd  
Milutin Ignjatović, gen. direktor, CIP, Beograd

Slika na korici: Čičak (Piran, SLO), L. Jovanović  
Prevodilac: Prof. dr Zoran Čajka



Štampanje časopisa pomažu

MINISTARSTVO PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA REPUBLIKE SRBIJE

INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE



Adresa: ECOLOGICA, Beograd, Kneza Miloša 7a, tel/fax (011) 32 44 248; e-mail: [ecologica.drustvo@gmail.com](mailto:ecologica.drustvo@gmail.com), [www.ecologica.org.rs](http://www.ecologica.org.rs); Tekući račun: 200 – 2718500101033 – 84, Banka Poštanska štedionica, PIB 101600071

Štampa: Akademska izdanja, doo, Zemun

## SADRŽAJ – CONTENT

<i>Larisa Jovanović, Vadim Ermakov</i>	
<b>Značaj selena i cinka u prevenciji i lečenju virusnih oboljenja .....</b>	<b>357</b>
<i>Vlado Radić, Nikola Radić, Nenad Ravić</i>	
<b>Uticao pandemije korona virusa na ciljeve održivog razvoja i ekonomiju .....</b>	<b>366</b>
<i>Mario Lukinović, Larisa Jovanović</i>	
<b>Uticao pandemije COVID-19 na životnu sredinu .....</b>	<b>376</b>
<i>Ana Batrićević, Vera Stanković</i>	
<b>Doprinos biotehnologija zaštiti zemljišta od zagađenja .....</b>	<b>383</b>
<i>Jelena Stanojković, Ana Čučulović, Marko Sabovljević, Milorad Vujičić, Rodoljub Čučulović, Dragan Veselinović</i>	
<b>Procena radijacionog opterećenja mahovina sakupljenih 2018. godine u NP Đerdap ...</b>	<b>389</b>
<i>Xiang Cai, Sergei Ostroumov</i>	
<b>Bioassay of “Tide Color” powder laundry detergent using <i>Lens culinaris</i> .....</b>	<b>395</b>
<i>Zoran Ristić, Goran Džafić, Miroslav Jevremović, Aleksandar Damnjanović</i>	
<b>Nove tehnologije - izazovi za kompanije i održiv ekonomski razvoj .....</b>	<b>401</b>
<i>Mimica Milošević, Dušan Milošević, Ana Stanojević, Dušan Simjanović</i>	
<b>IAHP kao podrška primeni tehnoloških inovacija u razvoju pametnih gradova .....</b>	<b>407</b>
<i>Siniša Arsić, Radoljub Tomić, Miloš Arsić, Dragutin Jovanović</i>	
<b>Konceptualni model za ekološko zbrinjavanje motornih vozila na kraju životnog ciklusa .....</b>	<b>414</b>
<i>Zoran Kaličanin, Miroslav Perić, Milica Kaličanin</i>	
<b>Modeli korporativnog upravljanja i njihov uticaj na održivi razvoj korporacija .....</b>	<b>421</b>
<i>Svetlana Ivanov, Vesna Grekulović, Nada Štrbac, Aleksandra Mitovski, Ivana Marković</i>	
<b>Macerat kestena kao potencijalni ekološki inhibitor korozije čelika u hloridnoj sredini .</b>	<b>429</b>
<i>Vladimir Knežević, Dragan Ivković, Aleksandra Penjišević</i>	
<b>Privredna razvijenost i ekološka održivost Srbije i susjednih zemalja .....</b>	<b>437</b>
<i>Dragan Zlatković, Nebojša Denić</i>	
<b>Smart cities: from urban development to digital infrastructure and cybersecurity .....</b>	<b>443</b>
<i>Miloš Pavlović, Ivana Erić, Miloš Milanović</i>	
<b>The importance of CSR and reporting about non-financial information .....</b>	<b>451</b>
<i>Zoran Milićević, Dragan Marinović, Ljiljana Arsić, Dušanka Marinović, Violeta Milićević</i>	
<b>Analiza zagađenja vazduha u funkciji koncentracije suspendovanih čestica PM2.5 .....</b>	<b>458</b>
<i>Jovan Veselinović, Stanimir Đukić, Dušan Gelić, Vida Orcević, Vesna Habić</i>	
<b>Ekološki aspekti i zaštita životne sredine u izgradnji sportskih objekata .....</b>	<b>465</b>
<i>Aleksandar Damnjanović, Milosav Miličković, Miroslav Jevremović</i>	
<b>Troškovi u funkciji upravljanja sistemom zaštite životne sredine .....</b>	<b>471</b>
<i>Slavica Stevanović, Jelena Minović, Grozdana Marinković</i>	
<b>Budžetska pripadnost prihoda od naknada za zaštitu životne sredine u Srbiji .....</b>	<b>479</b>
<i>Osama Mahmoud Ali Mahmoud, Abdassalam Ali Mnfid, Mohamed Abd Ahmed Abuhteara, Maja Kovačević, Jovana Gardašević, Omer Ali Mohamoud</i>	
<b>Značaj inovativnosti i društveno odgovornog poslovanja malih i srednjih preduzeća u uslovima održivog razvoja .....</b>	<b>486</b>

<i>Miroslav Perić, Milica Kaličanin, Zoran Kaličanin</i> <b>Uloga interne revizije u unapređenju korporativnog upravljanja</b> .....	493
<i>Mirjana Puharić, Maja Anđelković, Ivana Ilić</i> <b>Buka generisana vazдушnim saobraćajem</b> .....	500
<i>Aleksandra Golubović-Stojanović, Zvonko Brnjas</i> <b>Savremeni koncepti globalnog održivog razvoja i „cirkularna ekonomija“</b> .....	507
<i>Vladimir Crnjanski, Dragan Gašić</i> <b>Evropski sud za ljudska prava i pravo na život u zdravoj životnoj sredini</b> .....	513
<i>Maja Dajić, Nenad Kojić, Milan Dajić</i> <b>Specifičnosti modernog menadžmenta u funkciji održivog razvoja</b> .....	519
<i>Ivana Lešević, Pavle Radanov, Pavle Brzaković, Gordana Tomić, Dragan Pajić</i> <b>Uloga sredstava javnog informisanja u širenju informacija od opšteg značaja</b> .....	525
<i>Srđan Žikić, Dragana Trifunović, Marija Randelović</i> <b>Zadovoljstvo poslom u funkciji održivog menadžmenta hotelskog sektora Stare planine</b> .....	530
<i>Jovan Veselinović, Violeta Šiljak, Aleksandra Perović, Gordana Mrdak, Dejan Đurović, Marija Nikolić, Sonja Antonijević</i> <b>Primena robotike u sportu</b> .....	537
<i>Dejan Riznić, Adrijana Jevtić, Ana Dukić</i> <b>Značaj četvrte industrijske revolucije za razvoj zelene ekonomije</b> .....	544
<i>Ksenija Nešić, Aleksandra Tasić, Ivan Pavlović</i> <b>Insekti kao održivi izvori proteina u hrani i hrani za životinje</b> .....	553
<b>Uputstvo za pripremu rada</b> .....	356
<b>Instructions for the preparation of the papers</b> .....	560

**Napomena: Autori snose punu odgovornost za originalnost i sadržaj svojih radova.**

**Radovi objavljeni u časopisu ECOLOGICA proveravaju se na plagijarizam**

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

502.7

ECOLOGICA / glavni urednik Larisa Jovanović, God. 1, broj 1 (1994) – Beograd  
(Kneza Miloša 7a): Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije –  
Ecologica, 1994 – (Zemun : Akademska izdanja) - 28 cm

Tromesečno

ISSN 0354 – 3285 = Ecologica

COBISS.SR – ID 80263175

---

**Posebnu zahvalnost Upravni odbor Naučno-stručnog društva «Ecologica» izražava  
Savezu inženjera i tehničara Srbije, organima, rukovodstvu i Stručnoj službi za pomoć  
u realizaciji Programa rada Društva «Ecologica»**

---

# Uputstvo za pripremu rada

DRAGAN PETROVIĆ,  
ZORANA FILIPOVA

Adrese institucija gde su zaposleni autori, adrese elektronske pošte (e-mail) svih autora

Original rukopisa treba da bude odštampan na belom papiru formata A4 (210 x 297 mm). Rukopis je ograničen na 8-10 stranica A4 formata, font 10 Arial, uključujući slike, tabele, grafikone, reference i drugo.

Na stranicama rukopisa margine treba da budu: gornja i donja 3 cm, leva i desna 2.2 cm. Na sredini prve stranice rukopisa napisati naslov rada slovima veličine 14 (Arial bold). Ispod naslova ispisati slovima veličine 11 imena autora (italik) i nazive institucija (normal).

Rad kucati sa proredom 1 (single), font 10, tip slova Arial (kao u Uputstvu).

Podnaslove pisati velikim slovima, font 10, tip slova Arial.

Rad pripremljen u MS Wordu treba poslati elektronskom poštom na mail adresu: [ecologica.drustvo@gmail.com](mailto:ecologica.drustvo@gmail.com).

## UVOD

U Uvodnom delu se navode reference radova prethodnika sa kratkim komentaram. Takođe u tom delu treba pomenuti povezane radove autora i koautora predmetnog rada. U Uvodu autori označavaju cilj rada i metodologiju naučnog istraživanja. Osim diskriptivnih metoda treba navesti metode komparativne analize.

## 1. MATERIJALI I METODE

U ovom delu se navodi opis uzoraka koji su uzeti na analizu sa naznakom lokaliteta. Neophodno je navesti oznake opreme, kao i tehnike i metode kojima su obavljene analize. U slučaju originalnih metoda autora treba priložiti opis metoda i opreme.

## 2. REZULTATI

Tabele, slike, grafikoni i dr. mogu da budu u jednoj ili dve kolone. Iznad tabele treba da stoji naziv, npr.

*Tabela 1 - Rezultati eksperimentalnih merenja*

Ispod ilustracije treba da stoji objašnjenje, npr.: *Slika 1 - Rezultati simulacije procesa*

Formule numerisati rednim brojevima u malim zagradama. Pozivanje u tekstu vrši se navođenjem odgovarajućeg rednog broja u malim (okruglim) zagradama:

$$\overline{R}_u = L_4 + L_3 F_x \left( \frac{\overline{U}_{pm} - \overline{U}_{gm}}{U_{pm}^2} \right) \quad (1)$$

## 3. DISKUSIJA

U ovom delu se vrši upoređenje rezultata koje su dobili autori s podacima iz radova navedenih u odeljku Literatura.

## ZAKLJUČAK

U Zaključku se sažeto navode rezultati istraživanja autora predmetnog rada.

## Zahvalnica

Navodi se naziv i broj projekta Ministarstva preko kojeg su finansirana istraživanja prikazana u radu.

## LITERATURA

Literatura (skorijeg datuma: 2010. i nadalje) se u tekstu navodi u uglastim zagradama. Reference u spisku literature se numerišu po redosledu (prvog) navođenja u tekstu rada.

[1] Petrović, S., Zaštita vodnih resursa, Naučna knjiga, Beograd, 2019, 403 str.

[2] Smith, G., Title of the article, Chem. Phys., 65, 19-35 pp., 2017.

## IZVOD I APSTRAKT

Na kraju rada treba dati kratke sadržaje u Izvodu (na srpskom) i Apstraktu (na engleskom jeziku) sa ključnim rečima i naslovom rada na srpskom i engleskom jeziku.

Svi radovi podležu recenziji, a za originalnost, kvalitet i verodostojnost rezultata odgovorni su isključivo autori. Pregledni radovi, kao i radovi iz ekonomije, prava, menadžmenta, turizma i dr. mogu imati drugačije podnaslove (opisnog karaktera).

U sve radove neophodno je uvoditi elemente istraživanja. U radove iz društvenog polja neophodno je uključivati komparativne metode, a takođe analize Studija slučajeva (Case Study).

UREDNICI – EDITORS  
EMERITUS PROF. DR. LARISA JOVANOVIĆ  
PROF. DR. JOZEFINA BEKE TRIVUNAC  
PROF. DR. VADIM ERMAKOV

MEĐUNARODNA NAUČNA KONFERENCIJA  
ČETVRTA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA  
- ZNAČAJ ZA RAZVOJ ZELENE  
EKONOMIJE I ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE  
KNJIGA APSTRAKATA

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ON  
THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION  
- THE IMPORTANCE FOR GREEN ECONOMY  
PROGRESS AND ENVIRONMENTAL PROTECTION  
BOOK OF ABSTRACTS

Beograd – Belgrade, 16-18. September 2020.

**Књига апстраката радова саопштених на on-line Међународној конференцији**

**THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION – THE IMPORTANCE FOR GREEN  
ECONOMY PROGRESS AND ENVIRONMENTAL PROTECTION**

**ЧЕТВРТА ИНДУСТРИЈСКА РЕВОЛУЦИЈА – ЗНАЧАЈ ЗА РАЗВОЈ ЗELENE  
EKONOMIJE I ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE**

**одржаној 16-18. септембра 2020, биће публикована у новембру 2020. године и  
дистрибуирана учесницима Конференције.**

## Procena radijacionog opterećenja mahovina sakupljenih 2018. godine u NP Đerdap

Jelena Stanojković<sup>1</sup>, Ana Čučulović<sup>1</sup>, Marko Sabovljević<sup>2</sup>,  
Milcrad Vujičić<sup>2</sup>, Rodoljub Čučulović<sup>3</sup>, Dragan Veselinović<sup>4</sup>

Naučni rad  
UDC: 621.039.588:582.32(497.11)

### UVOD

Organizmi na planeti Zemlji su tokom svog života neprekidno izloženi radioaktivnom zračenju, koje može biti različitog porekla i prirode. Izvori jonizujućih zračenja mogu biti: prirodni, veštački, korisni i nekorisni; spoljašnji ili unutrašnji. Čestično ili elektromagnetno zračenje je jonizujuće ukoliko je njegova energija veća od minimalne vrednosti potrebne za jonizaciju atoma i molekula u materijalu. Različiti oblici radijacije razlikuju se po energiji i prodornoj moći i različito deluju na žive organizme. Izlaganje jonizujućim zračenjima predstavlja radnju ili uslove pri kojima dolazi do ozračivanja organizma koje može da bude: korisno za njih, ali i štetno, akutno ili hronično i ono može izazvati: funkcionalne, morfološke i genetske promene u organizmu [1]. Energija radijacije je ta koja izaziva oštećenja, a količina energije deponovane u živom tkivu naziva se dozom. Doza može da potiče od jednog ili više radionuklida, bez obzira da li oni ostaju van tela ili ga ozračuju iznutra. Koliko će organizam biti oštećen usled dejstva zračenja zavisi od mnogobrojnih faktora: vrste zračenja, njegovog trajanja i intenziteta dejstva, vremena izloženosti organizma, njegove osetljivosti i sposobnosti adaptacije. Različite vrste ćelija organizma su različito osetljive na zračenje, a isto zračenje ne izaziva

iste posledice na istoj vrsti ćelija u organizmu. Ono što je zajedničko za sve vrste ćelija u organizmu je da zračenjem bivaju oštećene u manjoj ili većoj meri i da dolazi do promena u organizmu. Ukoliko su doze kojima je organizam izložen visoke, jonizujuće zračenje može izazvati i njegovu smrt. Dozimetrija radioaktivnog zračenja predstavlja direktno merenje emisije radioaktivnog zračenja u prirodi [2].

Radioaktivnost je pojava koja je postojala i pre postanka planeta i života na Zemlji, a koju su ljudi relativno kasno počeli da koriste u različite svrhe. Bombama na Hirošimu i Nagasaki (1945. godina) započeta je era upotrebe nuklearnog oružja. Istraživanja su pokazala da se u periodu od 1945. do 2005. godine desio veliki broj radijacionih akcidenata na nuklearnim postrojenjima (28), kao i u medicinskoj, industrijskoj i drugim oblastima primene izvora i generatora zračenja. Pre akcidenta u Černobilju (1986) samo je u tri slučaja došlo do značajnih otpuštanja radioaktivnosti u životnu sredinu: Kištim - SSSR (1957), Vindskeil - Velika Britanija (1957), Ostrvo Tri Milje - SAD (1979) [3]. Akcident koji je obeležio XX vek je akcident u nuklearnoj elektrani Lenjin - Černobilj, SSSR, danas Ukrajina (26.04. 1986). Havarijom u Černobilju u životnu sredinu je otpušteno  $10^{18}$  Bq radioaktivnog materijala, od čega  $3,7 \times 10^{16}$  Bq  $^{137}\text{Cs}$ , a od te aktivnosti je 10% dospelo na teritoriju SFRJ. Procenjeno je da je u toku 1986. godine na teritoriji SFRJ deponovano oko 2,4% od ukupno ispuštenih radionuklida (bez inertnih gasova) [4]. Marta meseca 2011. godine desio se akcident u Fokušimi (Japan). Radioaktivne čestice ispuštene ovim akcidentom bile su transportovane preko Pacifika prema Severnoameričkom kontinentu i nezatno su dospele do Srbije [5]. Zagađenje ovim radionuklidom je uglavnom regionalnog karaktera, ali može da bude i širih razmera u slučaju snažnih nuklearnih eksplozija.

Sa tačke posmatranja formiranja tkivnih doza i radiobioloških posledica,  $^{137}\text{Cs}$  se smatra jednim od potencijalno najopasnijih radionuklida za organizme. Beta-gama je emiter, koji je dospelo u životnu sredinu suvim i vlažnim padavinama, nakon nuklearnih proba šezdesetih godina i posle akcidenata u Čer-

Adrese autora: <sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Institut za primenu nuklearne energije - INEP, Banatska 31b, 11060 Zemun, Srbija, e-mail: jelenas@inep.co.rs, anas@inep.co.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Institut za Botaniku i Botanička bašta Jevremovac, Takovska 43, 11000 Beograd, Srbija, e-mail: marko@bio.bg.ac.rs, milorad@bio.bg.ac.rs,

<sup>3</sup>Univerzitet Union Nikola Tesla, Poslovni i pravni fakultet, 11000 Beograd, Srbija, e-mail: rodoljub\_cuculovic@yahoo.com,

<sup>4</sup>Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Studentski trg 12-16, P.Fax 137, 11000 Beograd, Srbija, e-mail: anas@inep.co.rs.

Rad primljen: 14.11.2019.

Rad prihvaćen: 28.12.2019.

nobilju i Fukušimi [6]. Iz spoljašnje sredine se usvaja jonskom izmenom, fizičkom i hemijskom sorpcijom. Hemijski i biohemijski homolog je kalijuma, potpuno rastvorljiv u telesnim tečnostima, ravnomerno se raspoređuje u organizmu i nalazi se u svakoj ćeliji organizma. Organotropan je radionuklid, metabolički zamenjuje kalijum i pokretljivost u biološkim sistemima mu je visoka. Fizičko-hemijske osobine su mu takve da se aktivno uključuje u lanac ishrane ljudi i životinja preko biljaka. Zbog dugog fizičkog vremena poluraspada  $^{137}\text{Cs}$  (30,2 godine), a i biološkog (za ljude 70-110 dana, za mahovine i do 5 godina) u organizmu zagađenim ovim radionuklidom može doći do funkcionalnih, morfoloških, genetskih promena, a ako su doze visoke i do smrti organizma [3].

Istraživanja su pokazala da koncentracije zagađujućih supstanci u tkivima mahovina daju informacije o stepenu zagađenja ekosistema u kojem rastu. Prema literaturnim podacima pretpostavlja se da na Zemlji živi 22000-27000 vrsta mahovina, a u Srbiji raste 661 vrsta. Mahovine se odlikuju posebnom građom i specifičnom ekologijom u odnosu na vaskularne biljke, nemaju formirane biljne organe ni kutikulu na svojoj površini [7-9]. Dobri su biomonitori i bioindikatori zagađenja životne sredine radionuklidima, pesticidima i drugim zagađujućim supstancama, zbog velike moći akumulacije zagađujućih supstancija bez oštećenja organizma ili poremećaja u reproduktivnom ciklusu. Usvajaju radionuklide aktivno ili pasivno procesom jonske izmene [10]. U svetu su se mnogi naučnici bavili nivoima aktivnosti radionuklida u uzorcima mahovina i pre, a i posle akcidenta u Černobilju [11-13]. U Jugoslaviji su se istraživači do akcidenta u Černobilju malo bavili mahovinama kao bioindikatorima radioaktivnog zagađenja životne sredine. Podaci o nivou aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima mahovina iz sedam lovišta sa teritorije BiH iz 1980. godine pokazuju da je srednji nivo aktivnosti radiocezijuma bio 422 Bq/kg, a 1985. godine 429 Bq/kg [14]. Neposredno posle akcidenta u Černobilju počela su obimna istraživanja nivoa aktivnosti radionuklida u mahovinama i mnogo skromnija u našoj zemlji [15-21].

Da bi se zaštitili ekosistemi, odnosno populacije iz životne sredine jedne oblasti, neophodno je proceniti individualni nivo zagađenja. Pri proceni stanja ekosistema treba voditi računa o brojnim faktorima: načinu uzorkovanja, prostornim i vremenskim varijacijama za sve uzorke.

U ovom radu prikazane su jačine apsorbovane doze u mahovinama sakupljenim na teritoriji NP Đerdap 2018. godine i izvršena je procena njihovog radijacionog opterećenja. U radu su uzete u obzir i predložene kvantitativne kriterijume brojnih nacionalnih i međunarodnih organizacija za granice izlaganja

živih organizama zračenju (letalne doze) i za biljke i životinje koje iznose 4 Gy/god i 0,4 Gy/god, respektivno, dok promene u reproduktivnom ciklusu izaziva doza od 0,4 Gy/god do 1 Gy/god [22,23].

## 1. MATERIJAL I METODE RADA

Uzorci mahovina (30) sakupljeni su u junu 2018. godine, metodom slučajnog uzorka na teritoriji NP Đerdap iz tri reiona: Dobra (11), Donji Milanovac (5) i Tekija (14). Uzorci su u rejonu Dobra sakupljeni sa teritorije četiri gazdinske jedinice (GJ): Čezava, Desna reka, Leva reka i Kožica, u rejonu D. Milanovac sa teritorije dve GJ: Pecka bara i Boljetinka i u rejonu Tekija sa teritorije četiri GJ: Tekija, Crni vrh, Prapezešće i Manastirički gaj.

Izvršena je determinacija mahovina i utvrđeno je da su sakupljene sledeće vrste mahovina (broj uzoraka): 1. *Hypnum cupressiforme* (Hedw.) (11), 2. *Brachythecium salebrosum* (F. Weber & D. Mohr) Schimp. (4), 3. *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv. (3), 4. *Polytrichum formosum* (Hedw.) (4), 5. *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. (3), 6. *Dicranum scoparium* (Hedw.) (2), 7. *Isotecium alopecuroides* (Dubois) Isov. (1), 8. *Anomodon viticulosus* (Hedw.) Hook. & Taylor (1), 9. *Plagiothecium denticulatum* (Hedw.) Schimp (1) [24].

Nakon dopremanja uzoraka u laboratoriju, uzorci su očišćeni od vidljivih nečistoća, osušeni i upakovani u Marinelli posude od 1L. Aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  je određena gamaspektrometrijskom metodom. Gamaspektrometrijska merenja su vršena na HPGe detektoru sa 8192 kanala, rezolucije 1,65 keV-a i relativne efikasnosti od 34% na 1,33 MeV-a za  $^{60}\text{Co}$ . Vreme merenja jednog uzorka je bilo 60000 s. Relativna greška koja obuhvata pripremu uzorka i merenja je do 10%. Obrada spektra je vršena pomoću softverskog paketa Gamma Vision 32. Aktivnost veštački proizvedenog radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  je merena preko  $\gamma$ -linije na energiji od 661,6 keV-a. Izmerena aktivnost je preračunata u dozu uz pretpostavku da su sve emitovane čestice (gamma i beta) apsorbovane u tkivu koje je akumuliralo  $^{137}\text{Cs}$ . Procena radijacionog opterećenja organizama iz životne sredine za mahovine je kompleksna. Proračun doza zahteva informacije o unutrašnjoj i spoljašnjoj distribuciji radionuklida, o njihovom ponašanju u životnoj sredini, koje su malo dostupne, zbog svega navedenog neophodno je izvršiti uprošćavanje i uopštavanje podataka [25].

## 2. REZULTATI I DISKUSIJA

U zavisnosti od vrste, starosti mahovina, njihovih morfoloških karakteristika, mesta i podloge nalaženja, mahovine usvajaju  $^{137}\text{Cs}$ . U tabeli 1 prikazane su gazdinska jedinica (GJ), odeljenje u

NP Đerdap gde je mahovina sakupljena 2018. god., vrsta mahovine, jačina apsorbovane doze (mGy/god) koju je mahovina primila. Analiziranjem prikazanih rezultata zaključuje se da je srednja vrednost jačina apsorbovane doze u mahovinama sakupljenim u NP Đerdap 0,236 mGy/god, da je najmanja u mahovinama reiona Dobra (0,127 mGy/god), a najveća u mahovinama reiona Tekija (0,303mGy/god). Vrednosti jačina apsorbovanih doza u mahovinama NP Đerdap su od 0,042 (rejon Dobra, mahovina *H. cupressiforme*, GJ Leva reka, odeljenje 30) do 0,713 mGy/god (rejon Tekija, mahovina *A. undulatum*, GJ Crni vrh, odeljenje 4). Srednja vrednost apsorbovane doze za mahovine reiona Donji Milanovac je 0,287 mGy/god. U rejonu Dobra najmanju dozu je primila mahovina *A.*

*undulatum*, GJ Čezava, odeljenje 46a (0,042 mGy/god), a najveću mahovina *H. cupressiforme*, GJ Leva reka, odeljenje 40 (0,364 mGy/god). Rezultati ukazuju da srednje vrednosti jačine apsorbovanih doza (mGy/god) u mahovinama reiona Dobra kada se prate mesta njihovog sakupljanja (gazdinske jedinice (GJ)) rastu sledećim redosledom: Čezava (0,051) < Desna reka (0,068) < Kožica (0,197) < Leva reka (0,232). U rejonu Donji Milanovac najmanju dozu je primila mahovina *P. formosum*, GJ Boljetinka, odeljenje 58 (0,193 mGy/god), a najveću mahovina *H. cupressiforme*, GJ Pecka bara, odeljenje 33a (0,358 mGy/god). Rezultati iz tabele 1 ukazuju da su mahovine u GJ Boljetinka primile manju dozu od mahovina GJ Pecka bara (mGy/god) (0,251, odnosno 0,341).

Tabela 1 - Gazdinska jedinica (GJ), odeljenje u NP Đerdap gde je mahovina sakupljena, vrsta mahovine, jačina apsorbovane doze koju je mahovina primila

Red. br.	NP Đerdap		Vrsta mahovine	Jačina apsorbovane doze (mGy/god)
	GJ	odeljenje		
<b>REJON DOBRA</b>				
1.	Čezava	36a	6.	0,059
2.		37b	6.	0,054
3.		40a	1.	0,049
4.		46a	7.	0,042
5.	Desna reka	1c	1.	0,091
6.		56b	2.	0,044
7.	Leva reka	30	1.	0,364
8.		30	3.	0,100
9.	Kožica	26	5.	0,104
10.		38	2.	0,200
11.		63	2.	0,287
<b>REJON DONJI MILANOVAC</b>				
12.	Pecka bara	33a	1.	0,358
13.		40a	1.	0,324
14.	Boljetinka	58	4.	0,193
15.		66	1.	0,330
16.		81	4.	0,230
<b>REJON TEKIIJA</b>				
17.	Tekija	41a	2.	0,673
18.		48b	4.	0,266
19.		78	1.	0,104
20.		78	1.	0,136
21.		Dafin	1.	0,341
22.		Kosovica	5.	0,315
23.	Crni vrh	1	1.	0,392
24.		4	3.	0,713
25.		47	8.	0,129
26.		57	3.	0,206
27.		59	4.	0,153
28.		59	5.	0,185
29.	Prapežešće	25a	9.	0,401
30.	Manastirički gaj	8a	1.	0,224

Jačina apsorbovane doze (mGy/god) u mahovini reiona Tekija je bila od 0,104 (mahovina *H. cupressiforme*, GJ Tekija, odljenje 78) do 0,713 (mahovina *A. undulatum*, GJ Crni vrh, odeljenje 4). Rezultati ukazuju da srednje vrednosti jačine apsorbovanih doza (mGy/god) u mahovinama reiona Tekija kada se prate mesta njihovog sakupljanja (gazdinske jedirice (GJ)) rastu sledećim redosledom: Manastirički gaj (0,224) < Crni vrh (0,296) < Tekija (0,306) < Prapežešće (0,401).

Rezultati iz tabele 1 upućuju da je u rejonu Dobra vrednost jačine apsorbovane doze u mahovini *I. alopecuroides* najmanja (0,042 mSv/god) i da je srednja vrednost jačine apsorbovane doze u mahovini *B. salebrosum* najveća (0,177 mSv/god). Visoka srednja vrednost jačine apsorbovane doze zabeležena je i u mahovini *H. cupressiforme* (0,168 mSv/god). U rejonu Donji Milanovac srednja vrednost jačine apsorbovane doze u mahovini *H. cupressiforme* je najmanja (0,194 mSv/god), a vrednost jačine apsorbovane doze u mahovini *B. salebrosum* je najveća (0,673 mSv/god). U rejonu Tekija vrednost jačine apsorbovane doze u mahovini *A. viticulosus* je najmanja (0,129 mSv/god), a srednja vrednost jačine apsorbovane doze u mahovini *A. undulatum* je najveća (0,460 mSv/god). Analiziranjem podataka iz tabele 1 po vrstama mahovina i GJ gde rastu zaključuje se da su mahovina *H. cupressiforme* i *A. undulatum* primile najveću dozu. Kada se posmatraju mahovine koje rastu u istraživanim rejonima NP Đerdap rezultati ukazuju da je najmanja srednja vrednost jačine apsorbovane doze zabeležena u mahovini *D. scoparium* (0,057 mSv/god), a najveća u mahovini *A. undulatum* (0,340 mSv/god).

U prethodnim istraživanjima koja su rađena na teritoriji NP Đerdap pokazano je da su jačine apsorbovanih doza u mahovinama u periodu od 2003. do 2010. godine bile od 0,001 mGy/god (GJ Leva reka, 2010. god) do 14,1 mGy/god (GJ Ploče, 2003. god), kao i da su vrednosti srednje jačine apsorbovanih doza u mahovinama opadale u periodu od 2003. do 2009. godine (od 4,33 mGy/god do 0,10 mGy/god) [26]. Vrednost jačine apsorbovane doze od 14,1 mSv/god ukazuje na veliki kapacitet mahovina za usvajanje radiocezijuma. Godine 2010. su počela istraživanja u GJ Crni vrh, za koji se ispostavilo da je bila zagađenija radiocezijumom u odnosu na druge GJ u NP Đerdap. Kao posledica toga i mahovine koje su rasle u toj GJ su primile veću dozu. Istraživanja su pokazala da je najveća vrednost jačine apsorbovane doze u mahovini bila 3,21 mGy/god, dok je srednja vrednost za mahovine u GJ Crni vrh bila 2010. godine

2,30 mSv/god). U ovim istraživanjima pokazano je da je osam godina kasnije u mahovinama GJ Crni vrh srednja vrednost jačine apsorbovane doze 10,9 puta manja u odnosu na 2010. godinu, što govori u prilog da novih zagađenja <sup>137</sup>Cs na teritoriji ove GJ nije bilo, kao i da su jačine apsorbovanih doza u mahovinama sa teritorije NP Đerdap niže od doza koje izazivaju promene u reproduktivnom ciklusu biljnih i životinjskih organizama i letalnih doza [22, 23].

## ZAKLJUČAK

Analiziranjem prikazanih rezultata zaključuje se da je srednja vrednost jačina apsorbovane doze u mahovinama sakupljenim u NP Đerdap 0,236 mGy/god.

Najmanja srednja vrednost jačine apsorbovane doze zabeležena u mahovini *Dicranum scoparium* (0,057 mSv/god), a najveća u mahovini *Atrichum undulatum* (0,340 mSv/god).

Jačine apsorbovanih doza u mahovinama sakupljenih 2018. god. u NP Đerdap su niže od doza koje izazivaju promene u reproduktivnom ciklusu biljnih i životinjskih organizama i letalnih doza.

## Zahvalnica

Ovaj rad finansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, (Projekat III 43009).

## LITERATURA

- [1] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima, Službeni glasnik RS br 86/2011 i 50/2018.
- [2] Miljanić Š., *Udžbenik nuklearne hemije*, skripta za internu upotrebu, Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2008.
- [3] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 report. Volume II: effects. Annex D. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. New York: United Nations; 2011a.
- [4] Nivoi radioaktivne kontaminacije čovekove sredine i ozračenost stanovništva Jugoslavije 1986. godine usled havarije nuklearne elektrane u Černobilju, Beograd, Savezni komitet za rad, zdravstvo i socijalnu zaštitu, 1987.
- [5] Pantelić G., Janković M., Krneta Nikolić J., Todorović D., Rajačić M., Sarap N., Akcidenti i monitoring radioaktivnosti, monografija Černobilj 30 godina posle, Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne gore, Beograd, 2016, 19-42.

- [6] Nichols A.L., Hunt E., *Nuclear data table*, in: Longworth G, ed. The radiochemical manual, Howell, UK, 1998.
- [7] Veljić, M., Vukov, D., Sabovljević, M., *Biologija briofita I: morfologija i sistematika*. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu. Beograd-Novı Sad, 2018.
- [8] Sabovljević, M., Contribution to the bryophyte flora of the Djerdap National Park (E Serbia). *Phytologia Balcanica*, 2006, 12, 51-54.
- [9] Papp B., Erzberger P., Sabovljević M., Contribution to the bryophyte flora of the Đerdap national park (E Serbia), *Studia Botanica Hungarica*, 2006, 37, 131-144.
- [10] Zechmeister H.G., Grodzińska K., Szarek-Łukaszewska G., *Bryophytes*, In: B.A. Markert, A.M. Breure and H.G. Zechmeister, eds., *Bio-indicators and Biomonitors*, London, Elsevier, 2003, 329-375.
- [11] Mietelski J.W., Gaca P., Olech M.A., Radioactive contamination of lichens and mosses collected in South Shetlands and Antarctic Peninsula, *J. Radioanal. Nucl. Chem*, 2004, 245, 3, 527-537.
- [12] Papastefanou C., Manolopoulou M., Sawidis T., Lichens and mosses: biological monitors of radioactive fallout from the Chernobyl reactor accident, *J. Environ. Radioact*, 1989, 9, 199-207.
- [13] Topcuoglu S., Van Dawen A.M., Gungor N., The natural depuration rate of  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides in a lichen and moss species, *J. Environ. Radioact*, 1995, 29, 2, 157-162.
- [14] Saračević L., Kljajić R., Mihajl A., Milošević Z, Komparativni prikaz nivoa radioaktivnosti lišaja i mahovine u lovištima BiH prije i poslije havarije u Černobilju, XV Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Priština, Institut za nuklearne nauke Vinča. Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, 1989, 3-6.
- [15] Čučulović A., Popović D., Čučulović R., Ajtić J., Natural radionuclides and  $^{137}\text{Cs}$  in moss and lichen in Eastern Serbia. *Nucl. Technol. Radiat. Protect*, Belgrade, 2012, 27, 1, 44-51.
- [16] Čučulović A., Dželetović Ž., Stanković M., Veselinović D., Radioaktivnost Specijalnog rezervata prirode Zasavica, *Ecologica*, 2014, vol. 21, No 74, 263-266.
- [17] Čučulović A., Čučulović R., Nestorović S., Radaković N., Veselinović D., Sadržaj  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{40}\text{K}$  u mahovinama i njihovim podlogama sakupljenim 2016. godine u NP Đerdap, *Ecologica*, 2019, vol. 26, No 93, 10-14.
- [18] Čučulović A., Čučulović R., Sabovljević M., Veselinović D., Activity concentration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in mosses from spas in Eastern Serbia, *Arch. Biol. Sci.*, Belgrade, 2012, 64, 3.
- [19] Čučulović A., Čučulović R., Sabovljević M., Radenković M.B., Veselinović D., Natural radionuclide uptake by mosses in eastern Serbia in 2008-2013, *Arh. Hig. Rada Toksikol.*, 2016, 67, 31-37.
- [20] Krmar M., Radinović D., Mihailović D.T., Lalić B., Slivka J., Bikit I., Temporal variations of  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  samples over 14 month period. *Appl. Radiat. Isot.*, 2009, 67, 1139-1147.
- [21] Dragović S., Janković Lj., Transfer of radionuclides to ants, mosses and lichens and semi-natural ecosystems, *Radiat. Environ. Biophys.*, 2010, 49, 625-634.
- [22] IAEA, Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by current radiation protection standards, Technical Report Series, No 332, IAEA, Vienna, 1992.
- [23] *Annals of the ICRP*, Pergamon Press, Oxford, Publ 54, 1988.
- [24] Sabovljević M., Natcheva R. Dihoru G., Tsakiri E., Dragičević S., Erdag A., Papp B. Check-list of the mosses of Southeast Europe. *Phytol. Balc.*, 2008, 14, 2, 159-196.
- [25] DOE-STD-1153-2002, A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota, Module 3, Methods Derivation, US Department of Energy, Washington, 2002.
- [26] Čučulović A., Čučulović R., Veselinović D., Evaluation of the radiation load of moss and lichen in the Djerdap National park, The First International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research, RAD 2012, Niš, Proceedings, april 25-27, 2012, 275-277.

**IZVOD****PROCENA RADIJACIONOG OPTEREĆENJA MAHOVINA SAKUPLJENIH 2018. GODINE U NP ĐERDAP**

*Uzorci mahovina (30 uzoraka, 9 vrsta) sakupljeni su junu 2018. godine na teritoriji Nacionalnog parka (NP) Đerdap iz tri regiona (Dobra, Donji Milanovac i Tekija). Jon  $^{137}\text{Cs}$  je hemijski i biohemijski homolog kalijuma i u organizmu prati njegov metabolizam. Izmerena specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima konvertovana je u dozu uz pretpostavku da su sve emitovane čestice apsorbovane u tkivu koje je akumuliralo  $^{137}\text{Cs}$ . Određene su apsorbovane doze  $^{137}\text{Cs}$  u mahovinama. Srednja vrednost jačine apsorbovane doze (mGy/god) u ispitivanim mahovinama celog parka je bila 0,236; Dobre 0,127; Donjeg Milanovca 0,287 i Tekije 0,303. Jačine apsorbovanih doza u mahovinama sa teritorije NP Đerdap su niže od doza koje izazivaju promene u reproduktivnom ciklusu biljnih i životinjskih organizama i letalnih doza.*

*Ključne reči:  $^{137}\text{Cs}$ , mahovine, apsorbovana doza.*

**ABSTRACT****EVALUATION OF THE RADIATION LOAD OF MOSSES COLLECTED IN 2018 FROM NP ĐERDAP**

*Samples of mosses (30 samples, 9 species) were collected in June 2018 on the territory of National Park (NP) Đerdap from three regions (Dobra, Donji Milanovac and Tekija). The  $^{137}\text{Cs}$  ion is a chemical homologue of potassium and follows its metabolism in organisms. The measured specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in samples was converted into doses with the assumption that all emitted particles were absorbed in tissue that accumulated  $^{137}\text{Cs}$ . The absorbed dose strength of  $^{137}\text{Cs}$  in moss were determined. The average value of the absorbed dose strengths (mGy/year) in investigated moss samples from all Park was 0.236, from region Dobra 0.127, Donji Milanovac 0.287 and Tekija 0.303. Absorbed dose strengths on the territory of NP Đerdap in moss are lower than the doses causing changes in the reproduction cycle of plant and animal species and lethal doses.*

*Key words:  $^{137}\text{Cs}$ , mosses, absorbed dose strengths.*