

ISBN: 978-99976-49-00-3

ISSN 2637-1987 (Print)

ISSN 2637-1928 (Online)

12. Naučno-stručna konferencija  
**Studenti u susret nauci – StES 2019**

**ZBORNIK RADOVA**

**Prirodne nauke  
Istraživanja u prirodnim naukama**

12<sup>th</sup> scientific conference  
**Students encountering science – StES 2019**

**PROCEEDINGS**

**Natural Sciences  
Research in Natural Sciences**

Banja Luka  
2019.

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

Za izdavača:  
prof. dr Goran Latinović  
Stefan Kremenović

Urednik:  
Lena Lukić

Lektor za srpski jezik:  
Aleksandra Savić

Lektor za engleski jezik:  
Milica Guzijan

Štampa:  
Mikro print s.p. Banja Luka

Tiraž:  
35

Naučni odbor:

Prof. dr Goran Latinović, prof. dr Zoran Vujković,  
prof. dr Igor Milinković, prof. dr Vladimir Risojević,  
prof. dr Duško Jojić, prof. dr Željko Vaško  
doc. dr Siniša Lakić

Recenzenti:

Prof. dr Milošević Aleksej, Prof. dr Tošić Radislav, Prof. dr Mirjanić Goran,  
Prof. dr Nikolić Vera, Doc. dr Todorović Dragana,  
Dr Pantelić Gordana, Mr Đordić Olja, Mr Majić Aleksandar, Ma Grbić Milana,  
Ma Jevđenić Sara, Ma Delić Dragica

Sadržaj:

Ana Milenković DIVERZITET PARAZITOIDNIH OSA POTFAMILIJE APHIDIINAE (HYMENOPTERA:BRACONIDAE I BILJNIH VAŠI (HEMIPTERA:APHIDIDAE) NA TERITORIJI GRADA NIŠA	5
Bojan Garić ЕЛЕМЕНТИ КУЛТУРНОГ НАСЉЕЂА ЗМИЈАЊА У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА ТУРИЗМА	25
Александар Радичев ГЕОФИЗИЧКЕ МЕТОДЕ	45
Jovana Knežević, Predrag Kuzmanović COINCIDENCE TECHNIQUE FOR INTENSITY TIME VARIATION ANALYSIS OF LOW-ENERGY PHOTONS	55
Predrag Kuzmanović, Jovana Knežević RADIOACTIVITY OF WASTE FROM CHEMICAL INDUSTRIES IN SERBIA AND ASSESMENT OF RADIATION IMPACT ON WORKERS	71
Nevena Kukavica IZJEDNAČAVANJE KOEFICIJENATA U HEMIJSKIM REAKCIJAMA POMOĆU MATRICA I SISTEMA LINEARNIH JEDNAČINA	85



# DIVERZITET PARAZITOIDNIH OSA POTFAMILIJE APHIDIINAE (HYMENOPTERA:BRACONIDAE) I BILJNIH VAŠI (HEMIPTERA:APHIDIIDAE) NA TERITORIJI GRADA NIŠA

Ana Milenković  
*ana.milenkovic1@pmf.edu.rs*

**Mentor:** doc. Saša Stanković

*Departman za biologiju i ekologiju*

*Prirodno-matematički fakultet*

*Univerzitet u Nišu*

## Sažetak

**Uvod:** Parazitoidi su organizmi koji se razvijaju na račun drugog organizma, slično kao i paraziti, ali se od njih razlikuju jer uvek na kraju svog razvića ubijaju svog domaćina. Parazitoidi se mogu se naći u različitim redovima holometabolnih insekata: leptirima (Lepidoptera), tvrdokrilcima (Coleoptera), dvokrilcima (Diptera), ali su najbrojniji (oko 80% svih parazitoïda) u redu opnokrilaca (Hymenoptera), pogotovo one iz familija Ichneumonidae i Braconidae. U ovom radu, analiziran je diverzitet parazitoidnih osa iz potfamilije Aphidiinae (Hymenoptera: Braconidae) sa njihovim domaćinima, biljnim vašima (Hemiptera: Aphidiidae) na široj teritoriji grada Niša.

**Cilj:** Istražiti raznovrsnost parazitoidnih osa potfamilije Aphidiinae na teritoriji grada Niša; analizirati abundantnost parazitoidnih osa i biljnih vaši; prikazati najznačajnije vrste osa prema brojnošću i učestalosti za istraživano područje, ukazati na vrste osa koje imaju potencijal u biološkoj kontroli biljnih vaši.

**Materijal i metode:** Materijal je sakupljen na široj teritoriji grada Niša u periodu od 01. maja do 07. jula, a dobijeni podaci o izdvojenom materijalu sortirani su i obrađeni u softverskom programu Microsoft Excel 2010.

**Rezultati:** Istraživanjem na području grada Niša prikupljeno je 28 vrsta biljnih vaši, od kojih je 15 bilo parazitirano od strane parazitoidnih osa iz potfamilije Aphidiinae. Utvrđeno je da je najveću frekventnost među parazitoidnim osama pokazao rod *Lysiphlebus*, dok je dominantan rod među biljnim vašima bio *Aphis*. Primećeno je da je vrsta *Aphis fabae* najčešća štetočina biljaka na istraživanom terenu, dok se kao potencijalni kandidat za biološku kontrolu ove vaši može koristiti vrsta *Lysiphlebus fabarum*.

**Zaključak:** Dobijeni rezultati predstavljaju značajan doprinos istraživanju faune brakoniđnih osa iz potfamilije Aphidiinae, kao i biljnih vaši, na području grada Niša.

**Ključne reči:** Parazitoidi; Aphidiinae; biljne vaši; Aphidiidae; Niš

## Uvod

### 1.1 Opšte karakteristike familije *Braconidae*

Familija *Braconidae* pripada redu opnokrilaca (*Hymenoptera*), poznata je još i pod nazivom ose najeznice. Svi predstavnici su parazitoidi drugih insekata, najčešće njihovih larvi. Zajedno sa familijom *Ichneumonidae* (ose potajnice), brakonide su klasifikovane u superfamiliju *Ichneumonoidea*, koja sa drugim superfamilijama pripada sekciji *Parasitica*, podredu *Apocrita* (1). Prema novijim istraživanjima, u Evropi je registrovano 33 (od ukupno 45) potfamilija koje obuhvataju oko 6000 vrsta brakonida, svrstanih u 400 rodova i 40 potfamilija (2). Veličina tela osa najeznica kreće se 2–6 mm, ali postoje i vrste u tropima čije telo dostiže dužinu od nekoliko centimetara (3). Telo imaga brakonida diferencirano je na tri regiona – glavu (*cephalon*), grudi (*torax*) i trbuš (*abdomen*) (4). Na glavi se nalazi par krupnih složenih očiju i tri ocele. Usni aparat je sa ortognatnim položajem i prilagođen je za uzimanje tečne hrane, nektara i hemolimfe. Antene su sa više članaka, a njihov taksonomski karakter je važan, pri čemu mužjaci imaju veći broj članaka u antenama (4). Grudi su građene od tri segmenta; protoraks, mezotoraks i metatoraks za koji je srastao prvi abdominalni segment – *propodeum*. Noge se sastoje od kuka (*coxa*), butnog valjka (*trochanter*), buta (*femur*), goleni (*tibia*) i stopala (*tarsus*). Po jedan par krila smešten je na mezo- i metatoraksu, a odlikuje ih prilično redukovana nervatura (5). *Braconidae* su gonohoristi, ali poznate su i partenogenetske ženke. Ženke poseduju legalicu (*ovipositor*) koja je prilagođena za paralizovanje domaćina i polaganje jaja na ili u njega (6). Muške genitalije slične su ostalim grupama *Hymenoptera*. Najveći broj osa najeznica su parazitoidi raznih insekata, najčešće gusenica leptira, biljnih vaši, larvi tvrdokrilaca i muva, dok je fitofagija veoma retka (7). Parazitoidne larve se određeno vreme hrane specifičnim tkivom domaćina, a na kraju svog larvenog stadijuma, parazitoid ubije insekta-domaćina. Adulti su slobodnoživeći, hrane se nektarom i njihova uloga je u pronalaženju domaćina za razvoj sledeće generacije (8). Većina parazitoida je specifična prema odabiru domaćina, te takav život dovodi do raznovrsnih bioloških adaptacija imaga. Neke brakonide, po načinu parazitiranja, mogu biti ektoparazitoidi (ženka polaže jaja na telo domaćina) ili endoparazitoidi (ženka parazitoida polaže jaja u domaćina). Kao značajni prirodni neprijatelji mnogih biljnih štetočina i važan faktor

u održavanju stabilnosti ekosistema, vrste iz familije *Braconidae* pogodne su za primenu u biološkoj borbi protiv štetnih insekata širom sveta (7).



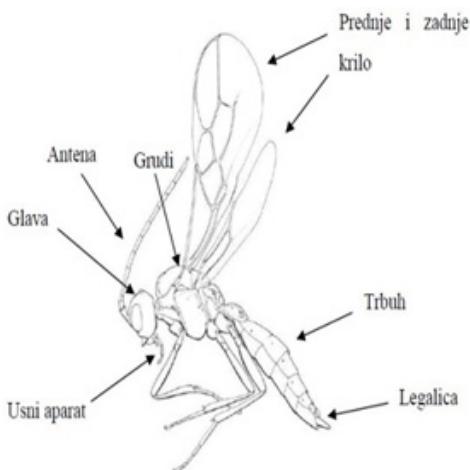
Slika 1: Osa najeznica (fam. Braconidae, Hymenoptera)

## 1.2 Opšte karakteristike potfamilije *Aphidiinae*

Predstavnici potfamilije *Aphidiinae* spadaju među najsitnije predstavnike familije *Braconidae* sa telom veličine oko 2 milimetara. Vrste iz ove

potfamilije imaju slabo sklerotizovano telo, a svi su solitarni parazitoidi biljnih vaši familije *Aphidiidae* (9). Do sada je opisano preko 400 *Aphidiinae*, od kojih u Evropi živi oko 200 vrsta, svrstane u 40 rodova. Građa tela *Aphidiinae* je tipična kao i za sve *Braconidae*.

*Flagellum* antene može imati od 8 članaka (kod vrste *Lysip-*

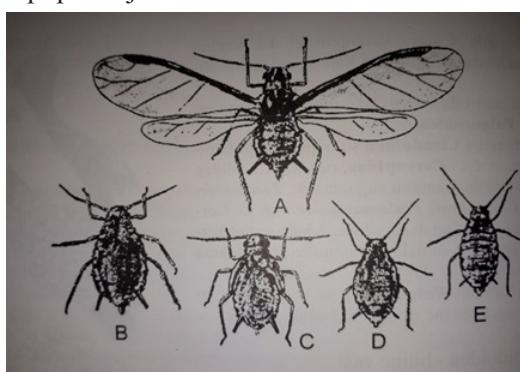


Slika 2: Opšti plan građe ose potfamilije Aphidiinae

*hlebus balcanicus*), pa do 30 članaka (kod nekih vrsta roda *Pause-sia*). Kao pouzdan taksonomski karakter pri determinaciji na nivou rodova ili vrsta, koriste se krila, antene, usni aparat, petiolus i drugi delovi tela. (4). Toraks je kompaktan sa dva para krila, a pojava beskrilnosti je retka. Od ostalih brakonida, ove osice razlikuju se po prisustvu pokretne suture između II i III tergita metazome (3). Osim ove razlike, u morfologiji ne postoje značajne osobenosti između imaga potfamilije *Aphidiinae* i ostalih predstavnika familije *Braconidae*. Prema mnogim autorima, potfamilija *Aphidiinae* se deli na 4 tribusa: Acli-tini, Ephedrini, *Aphidiini* i Praini.

### 1.3 Opšte karakteristike biljnih vaši familije *Aphididae*

Biljne vaši, zajedno sa cikadama, lisnim buvama i štitastim vašima, pripadaju redu *Hemiptera*, a podredu *Aphidoidea*. Do sada je poznato preko 20.000 vrsta širom sveta, a smatra se da ih ima više jer su slabo istražene (7). Izuzetno su biološki raznovrsne. U Evropi je registrovano preko 1.000, a u Srbiji oko 350 vrsta(7). Biljne vaši su sitni insekti, veličine tela do 7 mm, ovalnog oblika, sa vrlo različito obojenim i mekanim telom. Žive na biljkama iz kojih sišu sokove i pričinjavaju velike štete. To su uglavnom apterni insekti, ali se među ženkama javljaju i krilate jedinke. Većina vrsta vaši na kraju abdomena ima parne izraštaje – kornikule, kroz koje se luči vosak sa feromonima kojim se brane od predatora. Takođe, ovi insekti izbacuju mednu rosu (sekret sa dosta šećera i aminokiselina) koju drugi insekti, poput mrava, koriste kao hranu (5). Životni ciklus biljnih vaši je vrlo složen. Javlja se polimorfizam, pojava nekoliko formi odraslih jedinki u populaciji iste vrste.



Razmnožavaju se gamogenetski i partenogenetski. Vrste koje smenjuju ova dva tipa razmnožavanja označavaju se kao holociklične, a one koje se razmnožavaju samo partenogenetski, nazivaju se anholociklične (7).

Slika 3: Polimorfizam kod biljnih vaši (fam. *Aphididae*, *Hemiptera*)

## 1.4 Parazitizam i parazitoidizam

Parazitizam je biološka asocijacija u kojoj se jedna vrsta održava na drugoj živeći trajno ili povremeno na njenim delovima ili u njima, korištći njihovu energiju i remeteći njihove fiziološke procese, ali ne dovođeći uvek po pravilu do njihove smrti. U pogledu prilagođenosti na parazitski način života, razlikuju se slučajni, fakultativni i obligatni paraziti (10). Slučajni parazit je onaj organizam koji inače živi slobodno, a slučajno, našavši domaćina, postane parazit. Za njegov rast i razviće, domaćin nije suštinski potreban (10). Fakultativni parazitizam podrazumeva slučajeve kada parazitske vrste mogu živeti sa ili bez domaćina. Osnovna razlika između slučajnih i fakultativnih parazita jeste to što slučajni paraziti nisu specijalno prilagođeni na parazitski način života i oni ne ubijaju svog slučajnog domaćina, dok su fakultativni dobro sposobljeni da žive parazitskim i slobodnim načinom života, nezavisno od domaćina (10). Semiparaziti su fakultativni paraziti koji uspešnije žive parazitski nego li kao nezavisni organizmi (10). Obligatni paraziti su oni organizmi koji ne mogu da prežive bez domaćina (10). Prema mestu gde parazitiraju, paraziti mogu biti ektoparaziti (parazitiraju na površini tela domaćina) ili endoparaziti (parazitiraju unutar tela domaćina – u krvi i drugim telesnim tečnostima, organima, u anaerobnim uslovima i pri odsustvu svetlosti).

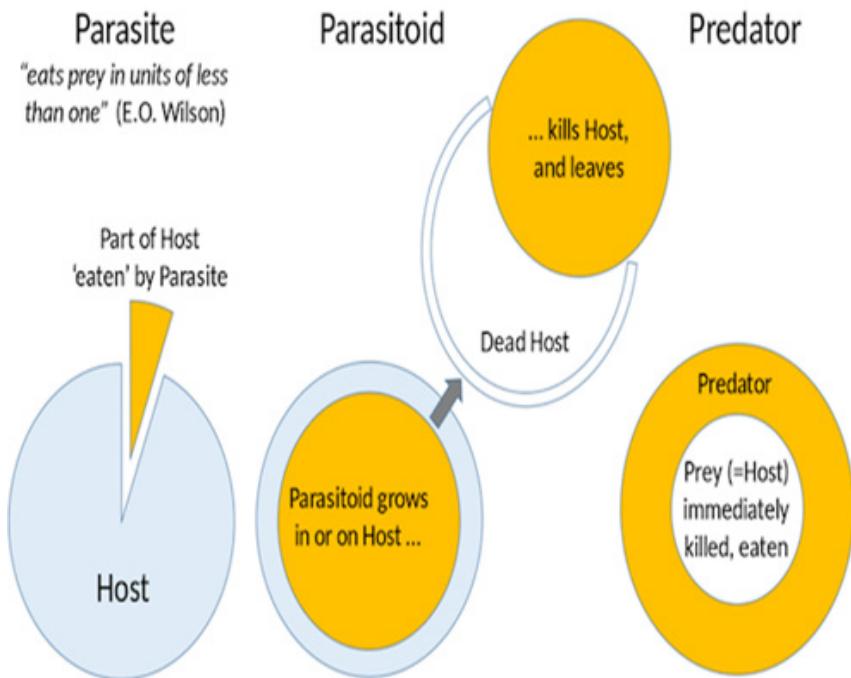


Slika 4: Ektoparazit



Slika 5: Endoparazit

Paraziti imaju negativan uticaj na domaćina – utiču na brojnost populacije vrste organizma kog parazitiraju, ali je i njihov život zavisan od stanja populacije domaćina. Ako nosilac biva polako oslabljen i uništen od strane parazita tj. polako umire zbog njegovog rasta i razvića, takav organizam se uobičajeno naziva parazitoid (10). Parazitoidi su organizmi koji se razvijaju na štetu drugog organizma, ali za razliku od parazita, uvek



Slika 6: Životni ciklus parazitoida

na kraju ubijaju svog domaćina. U ekološkom smislu, zauzimaju mesto između parazita i predavaca, budući da im je potreban domaćin za opstanak, a izazivaju njegovu smrt – kao predavaci (11).

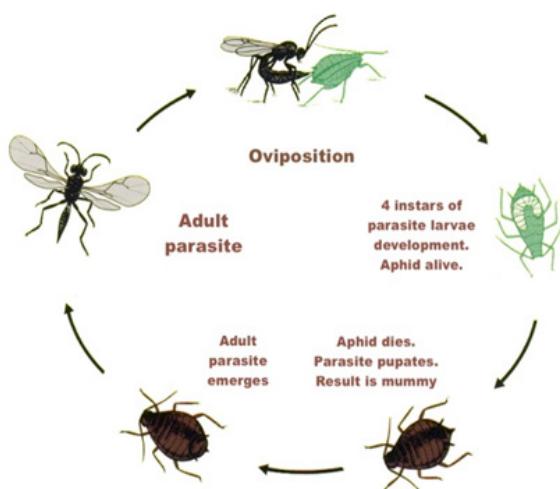
Termin parazitoid se uglavnom povezuje sa insektima, ali parazitoidi mogu biti i gljive, biljke, crvi, ribe kao što su slepulje i druge grupe životinja. Neke virusne možemo takođe opisati kao parazitoide budući da ubijaju domaćina, a takođe dovode i do promena u ponašanju domaćina (11). Postoje primarni i sekundarni parazitoidi. Primarni parazitoidi su oni koji parazitiraju na insektima koji žive slobodno – npr. biljne vaši. Sekundarni parazitoidi, zapravo, parazitiraju na primarnom parazitoidu i ti organizmi se nazivaju hiperparazitoidi. Ponekad, ženke parazitoida ne mogu napraviti razliku između već parazitiranog domaćina i onog koji to nije. U tom slučaju, ona će položiti jaje u parazitiranog domaćina. Ta pojava se naziva superparazitoidizam. Uobičajeno je da ženka polaže samo jedno jaje po domaćinu, ali ukoliko položi više jaja, govorimo o multiparazitoidizmu (12). Parazitoidi čiji domaćini prekidaju razviće od trenutka parazitiranja nazivaju se idiontobi, a oni parazitoidi čiji domaćini nastav-

Ijaju razviće i posle parazitiranja, zovu se koinobionti (13). Parazitoidi se mogu se naći u različitim redovima holometabolnih insekata: leptirima (*Lepidoptera*), tvrdokrilcima (*Coleoptera*), dvokrilcima (*Diptera*), ali su najbrojniji (oko 80% svih parazitoïda) u redu opnokrilaca (*Hymenoptera*) pogotovo ose iz familija *Ichneumonidae* i *Braconidae*. Pretpostavlja se da je parazitoidizam nastao zbog promena u načinu ishrane larvi pojedinih insekata. Na ovaj način, hrana je bogatija proteinima i u isto vreme larve se razvijaju u stabilnoj sredini, zaštićene od spoljašnjih uticaja i predatora (12). Zrela ženka – imago aktivno traži domaćina pri čemu koristi svoja čula kako bi odredila da li je domaćin odgovarajuće vrste, da li je zaražen i kakav mu je imunski odgovor i da li postoji kompeticija sa drugim larvama. Tek nakon provere, ona polaže jaja (12).

## 1.5 Životni ciklus parazitoidnih osa i interakcija sa biljnim vašima

Sve vrste *Aphidiinae* su solitarni koinobiontski parazitoidi oviparnih i viviparnih lisnih vaši iz familije *Aphidiidae*. Osim jajeta, svi stadijumi domaćina pogodni su za parazitiranje, ali najveći broj predstavnika potfamilije *Aphidiinae* polaže jaja u II i III larveni stupanj. Različiti biotički i abiotički faktori utiču na specifičnost *Aphidiinae* prema svojim domaćinima. Spektar domaćina ograničen je na jedan ili nekoliko bliskih rodova (14). Razlikuju se pet tipova specifičnosti parazitoida prema afidnim domaćinima: 1) parazitiraju jednu vrstu domaćina (monofagne); 2) parazitiraju dve ili više vrsta domaćina iz istog roda (polifagne); 3) parazitiraju vrste iz dva ili više rodova iste potfamilije; 4) parazitiraju vrste iz dve ili više potfamilije u okviru iste familije i 5) parazitiraju vrste iz dve ili više familija (14). Na antenama ženki *Aphidiinae* nalaze se hemoreceptori pomoću kojih pronalaze domaćine za parazitiranje. Jedinka, prvenstveno, pronalazi stanište domaćina preko biljke hraniteljke. Zatim ženka locira potencijalnog domaćina preko fizičkih i hemijskih stimulusa. Antenama i legalicom ona vrši ispitivanje domaćina, njegovog imunog sistema i prisustvo eventualnih simbionata i drugih faktora (14). Pri ovipoziciji, ženka savija abdomen ispod toraksa i zadnjim segmentom trbuha – legalicom, ubacuje jaje u domaćina. Nakon polaganja, dalji razvoj zavisi od podesnosti domaćina (12). Jaje zatim bubri i u telu domaćina se razvija larva. Još uvek nije utvrđeno kroz koliko larvenih stupnjeva prolazi larva parazitoidnih osa – pretpostavka po MacGill (15), kroz četiri, po Beirne (16) kroz pet, a O'Donnell (17) tvrdi da

larva prolazi samo kroz tri stupnja. Ukoliko je došlo do oplođenja, iz jajeta će se razviti nova ženka, a ako je jaje ostalo neoplođeno, razviće se mužjak. Larva prvog stupnja poseduje mandibule i hrani se slobodno teratocitima. Drugi stupanj je bez mandibula, pa larva jednjakom usisava teratocite (17). U trećem i kasnijim stupnjevima, larva se hrani direktnim tkivom domaćina. Na kraju ovog stadijuma, parazitoid fiksira biljnu vaš za biljku svojim sekretima i oblaže hitinsku ljuštu vaši. Kutikula vaši menja boju i prelazi u stadijum tzv. mumije (17). Sam proces se naziva mumifikacija biljne vaši. Boja i oblik mumije karakteristični su i važni pri determinaciji afidiina (18). Nakon završnog razvoja larve, parazitoidna osa gricka izletni otvor na mumiji kroz koji izlazi. Jedinke *Aphidiinae* polno sazrevaju posle nekoliko sati od izlaska iz mumije. Ženke se pare jednom i spermu čuvaju u spermatekama. Mužjaci se pare više puta (17). Za ceo životni ciklus potrebno je dve do tri nedelje, pri optimalnim uslovima. U povoljnim životnim uslovima, ove ose produkuju više generacija (4). Kada se desi da u toku sezone biljne vaši promene biljku hraniteljku, vrlo je moguće da će ih onda parazitirati i druge vrste parazitoida, ali uglavnom, vaši ne migriraju, tako da su najčešće parazitirane samo od strane jedne vrste *Aphidiinae* (4).



Slika 7: Životni ciklus parazitoidne ose

## **Cilj istraživanja**

Intenzivnim istraživanjem do sada je otkriveno oko 120 vrsta parazitoidnih osa iz 23 roda faune *Aphidiinae* Srbije (19). Srbija je, posle Češke, jedna od najbolje istraženih prostora u Evropi za diverzitet parazitoidnih osa ove potfamilije (19). Iako se šira teritorija grada Niša stalno istražuje, poslednjih 25 godina pronađene su dve vrlo retke vrste – *Paralipsis enervis* Foerster i *Aclitus obscuripennis* Foerster (19). Ciljevi ovog istraživanja su sledeći:

- 1) Istražiti raznovrsnost parazitoidnih osa potfamilije *Aphidiinae* na teritoriji grada Niša;
- 2) Analizirati abundantnost parazitoidnih osa i biljnih vaši;
- 3) Prikazati najznačajnije vrste osa prema brojnosti i učestalosti za istraživano područje,
- 4) Ukažati na vrste osa koje imaju potencijal u biološkoj kontroli biljnih vaši.

## **Materijal i metode**

### **3.1 Oblast istraživanja**

Materijal za ovo istraživanje prikupljen je u periodu od početka maja do početka jula 2019. na široj teritoriji grada Niša. Grad Niš je jedan od najstarijih gradova na Balkanu. Nalazi se u niškoj kotlini uz ušće Nišave u Južnu Moravu, na  $43^{\circ}19'$  severne geografske širine i  $21^{\circ}54'$  istočne geografske dužine. Zbog specifičnosti geografskog položaja, kroz istoriju je poznat kao „kapija istoka i zapada“ (21).

### **3.2 Sakupljanje i obrada uzoraka**

Sledeći materijal korišćen je za prikupljanje uzoraka:

- 1) makaze
- 2) providne plastične čaše zapremine 0,5 l
- 3) gaza za zatvaranje čaša
- 4) elastične gumice
- 5) plastične tubice (Eppendorf)
- 6) 70% etanol
- 7) blok i olovka za zapisivanje podataka

- 8) binokularna lupa
- 9) pinceta
- 10) ključevi za determinaciju (24) (25) (26)

Na terenu gde je uočena zaraženost biljke hraniteljke vašima, makazama je isecan deo biljke sa biljnim vašima. Nekoliko jedinki biljnih vaši je sa svake biljke uzimano i stavljanu u Eppendorf tubice, u kojima se nalazio etanol, radi kasnije identifikacije. Biljni materijal sa vašima je stavljan u plastične čaše, a zatim su čaše zatvarane gazama i guminicama. Sav materijal je odmah etiketiran – etikete sadrže lokalitet, datum prikupljanja, biljku hraniteljku i legatora. Po dolasku u laboratoriju, prikupljeni materijal determinisan je uz pomoć ključeva za identifikaciju. Na temperaturi od 22 °C, pri vlažnosti vazduha od 65%, uzorci su čuvani 4–6 nedelja. U navedenom periodu, ukoliko su biljne vaši bile parazitirane, praćena je pojava tj. izlazak adulta parazitoida iz mumificiranih biljnih vaši. Sakupljene jedinke osa su konzervirane u 70% etanolu, etiketirane i identifikovane na osnovu ključeva za determinaciju parazitoidnih osa (24) (25) (26). Podaci o obrađenom materijalu sortirani su i analizirani u programu Microsoft Excel 2010.

## Rezultati i diskusija

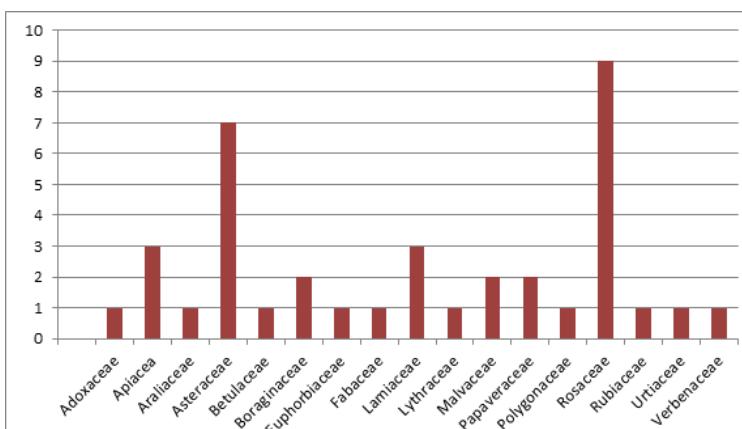
Istraživanjem ovog područja, analizirano je ukupno 38 biljnih vrsta na kojima su se nalazile veće ili manje kolonije biljnih vaši. U Tabeli 1. poređani su nazivi zaraženih biljaka po abecednom redu. Od ukupno 38 biljaka sa teritorije grada Niša, najviše zaraženih biljaka bilo je iz familije Rosaceae (9), a odmah posle nje familija Asteracea (7). (Grafik 1)

Najzastupljeniji rod bio je *Prunus* (u okviru familije Rosaceae) sa 4 vrste – *Prunus* sp., *P. armeniaca*, *P. cerasus*, *P. domestica*. Od 28 analiziranih vrsta biljnih vaši, parazitirano je 15 vrsta iz 5 rodova: *Aphis*, *Brachycaudus*, *Macrosiphum*, *Myzus* i *Uroleucon*. (Tabela 2)

Najveći diverzitet je zabeležen u okviru roda *Aphis* sa čak 10 vrsta – *A. fabae*, *A. euphorbiae*, *A. gossypii*, *A. hederae*, *A. salviae*, *A. umbrella*, *A. urticata*, *Aphis* sp. 1, *Aphis* sp. 2, *Aphis* sp. 3. (Grafik 2) *Aphis fabae* je bila najfrekventnija vrsta u 7 uzoraka sa 30% učešća. Obradom prikupljenih podataka o parazitoidnim osama, dobijeni su sledeći rezultati: na široj teritoriji grada Niša zabeleženo je 10 vrsta parazitoida koje pripadaju potfamiliji Aphidiinae. Zabeležene vrste su iz 2 tribusa:

Tabela 1: Spisak analiziranih biljaka

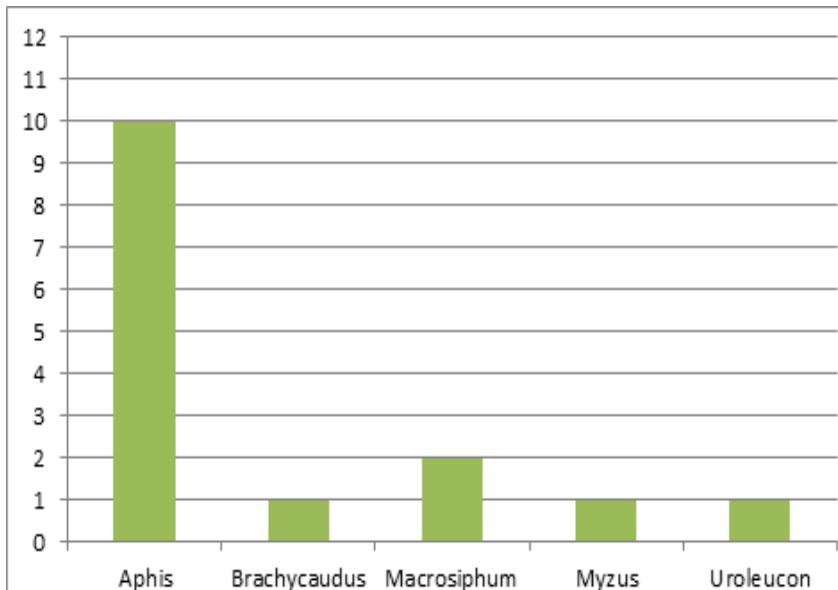
Familija	Vrsta
Araliaceae	<i>Sambucus nigra</i>
Apiacea	<i>Bifora radians, Apium graveolens, Eryngium campestre</i>
Araliaceae	<i>Hedera helix</i>
Asteraceae	<i>Carthamus lanatus, Centaurea sp., Crepis sp., Onopordum acanthium, Silybum marianum, Tanacetum major, Tragopogon major</i>
Betulaceae	<i>Corylus avellana</i>
Boraginaceae	<i>Anchusa officinalis, Echium vulgare</i>
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia cyparissias</i>
Fabaceae	<i>Medicago sativa</i>
Lamiaceae	<i>Lamium purpureum, Mentha piperita, Salvia sp.</i>
Lythraceae	<i>Lythrum salicaria</i>
Malvaceae	<i>Hybiscus syriacus, Malva silvestris</i>
Papaveraceae	<i>Fumaria officinalis, Papaver rhoes</i>
Polygonaceae	<i>Rumex sp.</i>
Rosaceae	<i>Cydonia oblonga, Malus domestica, Prunus armeniaca, P. cerastus, P. domestica, Prunus sp., Pyrus sp., Rosa canina, Rosa sp.</i>
Rubiaceae	<i>Galium aparine</i>
Urtiaceae	<i>Urtica dioica</i>
Verbenaceae	<i>Viburnum lantana</i>



Grafik 1: Učestalost vrste biljaka po familijama

Tabela 2: Spisak analiziranih biljnih vaši (fam. Aphididae)

Rod	Vrsta
<i>Aphis</i>	<i>Aphis fabae, Aphis euphorbiae, Aphis gossypii, Aphis hederae, Aphis salviae, Aphis umbrella, Aphis urticata, Aphis sp.1, Aphis sp.2, Aphis sp.3</i>
<i>Brachycaudus</i>	<i>Brachycaudus cardui</i>
<i>Macrosiphum</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae, Macrosiphum rosae</i>
<i>Myzus</i>	<i>Myzus lythri</i>
<i>Uroleucon</i>	<i>Uroleucon cichorii</i>



Grafik 2: Učestalost vrste biljnih vaši po rodovima (fam. Aphididae)

Aphidiini (obuhvata rodove *Aphidius*, *Binodoxys*, *Lipolexis* i *Lysiphlebus*) i Praini (obuhvata rod *Praon*). (Tabela 3)

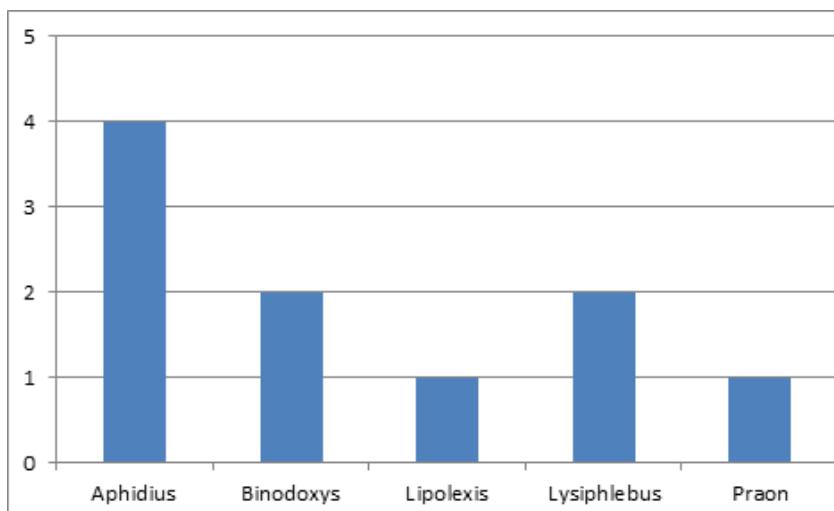
Najveći diverzitet pokazuje rod *Aphidius* sa 4 vrste: *A. ervi*, *A. funebris*, *A. matricariae* i *A. urticae*. (Grafik 3)

Najveću frekventnost u tritrofičkim asocijacijama pokazao je rod *Lysiphlebus* sa vrstama *L. fabarum* i *L. fritzmuelleri*.

Herbivorija, parazitoidizam i predatorstvo predstavljaju važne odnose između organizama, a od izuzetnog su značaja za održavanje ravnoteže u ekosistemima i predstavljaju biološku kontrolu. Bilo kakav poremećaj u broj-

Tabela 3: Spisak analiziranih parazitoida (potfam. Aphidiinae)

Tribus Aphidiini	
Rod	Vrsta
<i>Aphidius</i>	<i>Aphidius ervi, Aphidius funebris, Aphidius matricariae, Aphidius urticae</i>
<i>Binodoxys</i>	<i>Binodoxys acalephae, Binodoxys angelicae</i>
<i>Lipolexis</i>	<i>Lipolexis gracilis</i>
<i>Lysiphlebus</i>	<i>Lysiphlebus fabarum, Lysiphlebus fritzmuelleri</i>
Tribus Praini	
<i>Praon</i>	<i>Praon sp.</i>



Grafik 3: Učestalost vrste parazitoida po rodovima (potfam. Aphidiinae)

nosti neke od karika u lancu ishrane dovodi do narušavanja ove ravnoteže. Biljne vaši su značajan ekonomski ograničavajući faktor u proizvodnji gajenih biljaka. Šteta koju izazivaju ove vaši može biti direktna ili indirektna (27). Direktna nastaje pri hranjenju biljnih vaši sokovima iz biljaka, zbog čega dolazi do uvijanja listova i drugih deformacija ili hloroze. Indirektna šteta je posledica širenja virusa, gljiva i drugih patogena (27). Usled pojave rezistentnosti biljnih vaši na insekticide, kao i negativnog uticaja ovih supstanci na zdravlje ljudi i životnu sredinu, posled-

njih godina su intenzivirana istraživanja biologije njihovih prirodnih neprijatelja kao bioloških kontrolnih agenata. Istraživanjem došlo se do zaključka da u prirodnim ekosistemima njihovu brojnost vrlo efikasno kontrolišu parazitoidi, pri čemu parazitoidne ose iz potfamilije Aphidiinae imaju značajnu ulogu u regulaciji prenamnožavanja ovih štetočina (28). Trenutno se ulažu veliki napori kako bi se parazitoidi koristili za kontrolu brojnosti insekata štetočina, te se u svetu komercijalno koristi preko 20 parazitoida protiv štetočina u staklenicima. Vrsta *Trioxys pallidus* uspešno se koristi za kontrolu lešnikove vaši (*Myzocallis corily*) (29). Za suzbijanje bananine vaši (*Pentalonia nigronervosa*), koristi se osa *Ephedrus cerasicola* (29). Vaš *Aphis gossypii* oštećuje polja pamuka, pa se pribeglo njenoj kontroli vrstom *Aphidius matricariae* (29). Limunove vaši sa Mediterana (*Toxoptera aurantii* i *Aphis citricola*) kontrolišu se vrstom *Lysiphlebus testaceipes* (14). Za kontrolu vaši asparagusa (*Brachycorynella asparagi*), uspešno se upotrebljava vrsta *Trioxys brevicornis* (29). Na osnovu mnogobrojnih prethodnih studija, bilo je očekivano da se za teritoriju grada Niša, kao potencijalni biološki agens u regulisanju brojnosti mnogih biljnih vaši, svakako može uzeti vrsta *Lysiphlebus fabarum*. (Slika 8)

Ne treba zanemariti da se za kontrolu biljnih vaši mogu upotrebiti i predatori, kao što su razne vrste bubamara (familija *Coccinellidae*) i drugi.

(Slika 9) Takođe, entomofagne gljive mogu poslužiti u kontroli biljnih vaši, na primer vrsta *Verticillium lecanii*.



Slika 8: Parazitoid – Biljna vaš – Biljka



Slika 9: Predator (bubamara)

### Zaključak

U toku ovog istraživanja pronađeno je 10 vrsta (iz 5 rodova) parazitoidnih osa potfamilije *Aphidiinae*. Najveći diverzitet na teritoriji grada Niša pokazali su rodovi *Aphidius* i *Lysiphlebus*.

Najfrekventnija vrsta *Lysiphlebus fabarum* pronađena je na 10 vrsta biljnih vaši. Među biljnim vašima najzastupljeniji bio je rod *Aphis* sa 10 vrst. Najveću frekventnost pokazala je vrsta *Aphis fabae* na 12 vrsta biljaka, pa se zbog toga može okarakterisati kao najveća opasnost za biljke ovog područja. Zbog visoke specifičnosti prema domaćinima, efikasnosti u pronalaženju istih, kao i visoke reproduktivnosti, zaključak je da ose iz potfamilije *Aphidiinae*, zajedno sa ostalim parazitoidima iz familije *Braconidae*, imaju veliki potencijal kao indikatori bogatstava i stabilnosti životne sredine. (Tabela 4)

Tabela 4: Tritrofičke asocijacije (Parazitoid – Biljna vaš – Biljka hraniteljka)

Parazitoid	Biljna vaš	Biljka hraniteljka
<b>Tribus Aphidiini</b>		
<i>Aphidius ervi</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<i>Fumaria officinalis</i>
<i>Aphidius funebris</i>	<i>Uroleucon cichorii</i>	<i>Crepis sp.</i>
<i>Aphidius matricariae</i>	<i>Aphis sp.1</i>	<i>Lamium purpureum</i>
	<i>Myzus lythri</i>	<i>Lythrum salicaria</i>
<i>Aphidius urticae</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<i>Euphorbia esula</i>
	<i>Aphis euphorbiae</i>	<i>Euphorbia cyparissias</i>
<i>Binodoxys acalephae</i>	<i>Aphis urticata</i>	<i>Urtica dioica</i>
	<i>Aphis hederae</i>	<i>Hedera helix</i>
	<i>Aphis fabae</i>	<i>Galium aparine</i>
<i>Lipolexis gracilis</i>	<i>Aphis glossypii</i>	<i>Silybum marianum</i>
	<i>Aphis sp.2</i>	<i>Viburnum lantana</i>
	<i>Aphis fabae</i>	<i>Anchusa officinalis</i>
<i>Lysiphlebus fabarum</i>		<i>Galium aparine</i>
	<i>Aphis salviae</i>	<i>Hybiscus syriacus</i>
	<i>Aphis umbrella</i>	<i>Papaver rhoes</i>
	<i>Brachycaudus cardui</i>	<i>Robinia sp.</i>
<i>Lysiphlebus fritzmuelleri</i>	<i>Aphis sp.3</i>	<i>Rumex sp.</i>
		<i>Salvia sp.</i>
		<i>Bifora radians</i>
		<i>Malva silvestris</i>
		<i>Echium vulgare</i>
		<i>Mentha piperita</i>
<b>Tribus Praini</b>		
<i>Praon sp</i>	<i>Macrosiphum rosae</i>	<i>Rosa sp.</i>

## Literatura

- (1) Jong Y de, Fauna Europaea, 2011 (cited 2019 09), Available from: <http://www.faunaeur.org/>.
- (2) Wharon R.A., Marsh P.M., Sharky M.J., Manual of the New World Genera of the Family Braconidae (Hymenoptera), International Society of Hymenopterists, Washington DC, 1997.
- (3) Shaw M.N., Huddleston T., Classification and biology od braconid wasps, Handbooks for the Identification of British Insects, London, 1991.
- (4) Žikić V., *Ephedrus persicae* Froggatt (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) - morfološka i taksonomska studija, Biology and ecology, Beograd:Biološki fakultet, 2008.
- (5) Žikić V., Stanković S.S., Ilić-Milošević M., Petrović A., Praktikum iz Zoologije beskičmenjaka 2, Niš: Prirodno-matematički fakultet, 2014.
- (6) Brajković M., Parazitske ose Braconidae(Hymenoptera), Beograd: Naučna knjiga; 1989.
- (7) Brajković M., Zoologija Invertebrata, Beograd: ZUNS, 2004.
- (8) Askew R., Parasitic insects, London, 1971.
- (9) Van A.C., Fauna Europaea: Braconidae, 2004 (cited 2019 09), Available from: <http://faunaeur.org>.
- (10) Pešić S., Ekologija i geografija životinja, Kragujevac: Prirodno-matematički fakultet, 1999.
- (11) Ilić M., Eko blog, 2017 (cited 2019 09), Available from: <http://ekoblog.info>.
- (12) Vinson S.B., Host selection by insect parasitoids, Annual Review of Entomology, 1976, 21(109 - 133).
- (13) Quicke D.L., The Braconid and Ichneumonid Parasitoid wasps, Bangkok: Wiley Blackwell, 2014.
- (14) Stary P., Aphidiidae: Aphids, their biology natural enemies and control, 1988; 2B(171-184).
- (15) MacGill E.I., The life history of *Aphidius avenae* (Haliday), a braconid parasite of the nettle aphid (*Macrosiphum urticae*), In Royal Society of Edinburg; 1923; Edinburg. p. 51-71.
- (16) Beirne B.P., Opservations on the developmental stages of some Aphidiinae, Entomologist's Monthly Magazine, 1942, 78(283-286).
- (17) O'Donnell D.J., Larval development and the determination of the number of instars in aphid parasitoids, International Journal of Insect Morphology and Embriology, 1987, 16(3-15).

- (18) Kavallieratos N.G., Lykouressis D.P., The coloration of *Aphis gossypii* Glover mummies as a useful tool for Aphidiinae parasitoid identification, Israel journal of Entomology, 2004, 34(75-82).
- (19) Žikić V. et al., Aphidiinae (Braconidae:Hymenoptera) of Serbia and Montenegro - tritrophic interactions, Acta Entomologica Serbica, 2012, 17.
- (20) Đorđević M.D., Tritrofičke asocijacije parazitskih osa potfamilije Aphidiinae (Hymenoptera:Braconidae) na široj teritoriji grada Niša i Sicevačkoj klisuri , Niš, 2014.
- (21) Živanović N., Niš, Niš: Turistička organizacija Niš, 2012.
- (22) Anonymus, Grad Niš, 2019 (cited 2019 09), Available from: <http://www.ni.rs>.
- (23) Anonymus, Wikipedia, (cited 2019 09), Available from: <https://sr.wikipedia.org>.
- (24) Van A.C. , Illustrated key to the subfamilies of the Braconidae (Hymenoptera:Ichneumonoidea),Zoologische Verhandelingen, 1993.
- (25) Kavallieratos N.G. et al., Some rare and endemic aphid parasitoid species (Hymenoptera:Braconidae:Aphidiidae) from the Balcan peninsula, Acta Entomologica Serbica, 2001,6.
- (26) Tomanović Ž., Brajković M., Krunić M., Petrović O., Podaci o fauni afidiida (Aphidiidae, Hymenoptera) Savezne Republike Jugoslavije, In M. P. XXII Skup entomologa Jugoslavije, zbornik rezimea, Novi Sad, 1995. p. 253-256.
- (27) Petrović-Obradović O., Biljne vaši (Homoptera:Aphididae) u Srbiji, Beograd: Poljoprivredni fakultet, 2003.
- (28) Tomanović Ž., Parazitske ose, biljne vaši i eriofidne grinje: diverzitet i filogenetski odnosi, Project, Biology (Zoology),Beograd: Biološki fakultet.
- (29) Hagvar E.B., Hofsvang T., Aphid parasitoids (Hymenoptera, Aphidiinae): biology, host selection and use in biological control, Biocontrol News and Informations, 1991, 12(13-41).

# DIVERSITY OF PARASITOID WASPS FROM THE SUBFAMILY APHIDIINAE (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) AND APHIDS (HEMIPTERA: APHIDIIDAE) ON THE TERRITORY OF THE CITY OF NIS

Ana Milenković

*ana.milenkovic1@pmf.edu.rs*

**Mentor:** Assist. Prof. Saša Stanković

*Department of Biology and Ecology*

*Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš*

## Abstract

**Introduction:** Parasitoids are organisms that develop at the expense of another organism, much like parasites, but they differ in the fact that they always kill their host at the end of their development. Parasitoids can be found in different orders of holometabolous insects: butterflies (Lepidoptera), beetles (Coleoptera), true flies (Diptera), but they are the most numerous (about 80% of all parasitoids) in the order of insects containing bees, ants and wasps (Hymenoptera), especially wasps from the families Ichneumonidae and Braconidae. This paper analyzes the diversity of parasitoid wasps from the subfamily Aphidiinae (Hymenoptera: Braconidae) with their hosts, aphids (Hemiptera: Aphididae) in the wider territory of Niš.

**Aim:** Research the diversity of parasitoid wasps of the subfamily Aphidiinae in the City of Niš; analyze the abundance of parasitoid wasps and aphids; present the most significant types of wasps according to the number and frequency for the studied area; indicate the types of wasps that have potential for biological control of aphids.

**Material and Methods:** The material was collected throughout the territory of Niš in the period from May 1st to July 7th, and the obtained data on the extracted material were sorted and processed in the Microsoft Excel 2010 software.

**Results:** During the research in the City of Niš, 28 species of aphids were collected, 15 of which were parasitized by parasitoid wasps from the Aphidiinae subfamily. The highest frequency among the parasitoid wasps was found to be the genus *Lysiphlebus*, while the dominant genus among the aphids was *Aphis*. It was observed that the species *Aphis fabae* is the most common pest of the plants in the researched field, while the species *Lysiphlebus fabarum* is a potential candidate for biological control of this species of aphids.

**Conclusion:** The obtained results present a significant contribution to the study of the fauna of the braconid wasps from the subfamily Aphidiinae, as well as aphids in the area of the City of Niš.

**Keywords:** parasitoids; Aphidiinae; aphids; Aphididae; Niš



## ЕЛЕМЕНТИ КУЛТУРНОГ НАСЉЕЂА ЗМИЈАЊА У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА ТУРИЗМА

Бојан Гарич

*bojan.garic05@gmail.com*

**Mentor:** prof. dr Irena Medar-Tanjga

*Природно-математички факултет*

*Универзитет у Бањој Луци*

### Сажетак

Културно наслеђе подразумијева добра која су наслеђена од претходних генерација или која настају у садашњости. Њихов значај и вриједност су веома важни и због тога је потребно да се чувају, како сада тако и у наредним генерацијама. Она утичу на идентитет одређеног насеља, регије или државе. Ова добра најчешће су под режимом заштите, имају симболички значај у свијести људи, а са економске стране представљају туристички потенцијал. Множство елемената није под режимом заштите, али се налазе, промовишу и штите кроз понуду локалних и државних туристичких организација.

У раду ће бити приказан преглед елемената културног наслеђа Змијања према доступним подацима. Методама анализе и синтезе евидентираће се постојећи елементи, те њихова заступљеност у актуелној туристичкој понуди Туристичке организације Бања Лука и Туристичке организације Републике Српске. Анализом тренутне понуде и прегледом планских и стратешких докумената у области развоја културе и туризма на нивоу Града и Републике Српске, утврдиће се планиране активности на промоцији културног наслеђа Змијања.

Планирањем промоције елемената културног наслеђа Змијања, њиховим повезивањем са другим туристичким потенцијалима овог простора, као и давањем смјерница за већу туристичку препознатљивост, отварају се нове могућности за развој културног лика Бање Луке и Републике Српске.

**Кључне ријечи:** Културно наслеђе; Змијање; туризам; туристичке организације; стратешки и плански документи

## УВОД

Култура као категорија је карактеристична за сваку заједницу или појединца, а вриједности које су означене као културно наслеђе у својој форми су највиталнији дио туристичке понуде једног региона. Сваки регион има нешто по чemu је специфичан и то треба представити на најбољи начин. Ово посебно важи за регионе у развоју, где су други ресурси ограничени и културно наслеђе се посматра као ресурс који може да буде импулс за даљи развој. Појам наслеђе (природно и културно) се односи на оно што је наслеђено од претходних генерација и што остаје наредним генерацијама. Сагледавањем природног и културног наслеђа, стварају се могућности да се елементи из прошлости препрезентују у садашњости. Према томе, може се рећи да: „Културно наслеђе подразумијева наслеђе физичких, материјалних артефаката и нематеријалних атрибута неке групе или друштва које чини оставшину прошлих генерација, те се брижно чува у садашњости како би било остављено у наслеђе за добробит будућим генерацијама. Ова добра најчешће су под режимом заштите, имају симболички значај у свијести људи, а са економске стране представљају туристички потенцијал.“ (1, стр. 428) Културно наслеђе се дијели на дваје категорије: материјално и нематеријално. Материјално наслеђе обухвата све оно што је видљиво голим оком, опипљиво, направљено од стране човјека, и дијели се на покретно и непокретно. Према физичким, умјетничким, културним, научним и историјским својствима, у непокретна културна добра спадају споменици кulture, просторне културно-историјске целине, археолошка налазишта, знаменита мјеста, а покретна културна добра су: умјетничка дјела и историјски предмети, архивска грађа, филмска грађа, стара и ријетка књига. (2) Нематеријално културно наслеђе означава праксе, приказе, изразе, знање, вјештине, као и за њих везане инструменте, предмете, артефакте и културне просторе, које заједнице, групе и, у неким случајевима, појединци, признају као дио свог културног наслеђа, а испољава се у следећим доменима: усмене традиције и изражавања, укључујући језик као покретач нематеријалног културног наслеђа; извођачке умјетности; друштвене праксе, ритуали и свечани догађаји; знање и праксе везани за природу и свемир; традиционални занати. (3, стр. 26—27)

Доста елемената које данас посматрамо као културно наслеђе, у прошлости нису имали такав статус. Неки своју вриједност и значај

преносе већ генерацијама, а неки су их временом изгубили. Поред тога, мноштво елемената културног наслеђа, који нису од изузетног значаја, не налазе се под режимом заштите, али се као културна добра локалног значаја промовишу кроз понуду државне и локалних туристичких организација.

## **КУЛТУРНИ ТУРИЗАМ**

Један од првих форми туристичких кретања је културни туризам. Његов почетак се везује за средину 18. вијека, када је прво енглеска, а затим и француска и њемачка аристократија практиковала „грандтоур“, као могућност уживања у остварењима у историји умјетности најчешће у велиkim европским градовима попут Рима, Лондона, Париза, Мадрида, Амстердама... У доба просвјетитељства, интензивирају се путовања с намјером упознавања народа, култура и непознатих и неистражених мјеста, па „грандтоур“ престаје бити повлаштена пракса енглеских племића, већ дјелимично и добростојећих грађанских класа. „Тек почетком 20. вијека, смањењем радног времена и увођењем годишњих одмора стварају се услови који ће туризам преобратити у феномен који данас познајемо.“ (4, стр. 71—74). Данас, када се говори о културном туризму, говори се о виду туризма посвећеном презентовању и промовисању културних вриједности. Као што се мијењао концепт културног туризма, тако су се мијењале и његове дефиниције. Једна од најприхваћенијих дефиниција је она коју је дао Грег Ричардс, а према којој културни туризам означава кретање људи, које је узроковано културним атракцијама, изван њиховог уобичајеног мјеста становаша, са намјером сакупљања нових информација и искустава како би задовољили своје културне потребе (5, стр. 17). Свјетска туристичка организација (World Tourism Organization – UNWTO) културни туризам дефинише као путовања мотивисана културом попут студијских, извођачких и културних тура, путовања на фестивале и слична догађања, посјете историјским локалитетима, и споменицима, путовања приликом којих би се проучавала природа, фолклор или умјетност те ходочашћа (6). У Европи се најчешће примјењује двострука дефиниција Удружења за туризам и туристичко образовање (Association for Tourism and Leisure Education – ATLAS) које проводи истраживања у подручју културног туризма. Према техничкој дефиницији, културна туристичка путовања су сва

путовања која укључују посјете специфичним културним атракцијама, од историјских локалитета, преко умјетничких и културних манифестација, до посјета музејима и позориштима, оствареним изван мјesta сталног боравка. Концептуална дефиниција укључује мотивационе и доживљајне елементе, па тако дефинише туризам као сва путовања која укључују посјете културним атракцијама изван сталног мјesta боравка с циљем стицања нових знања и доживљаја која задовољавају културне потребе појединца (7).

Дефиниције културног туризма наглашавају потенцијалну сврху активности, а истовремено указују на проблеме у постављању параметара који одређују шта је заправо културни туризам. Овај туризам је постао кровни термин за широк распон активности, које укључују историјски, етнички, умјетнички, музејски и остale врсте туризма (8, стр. 51).

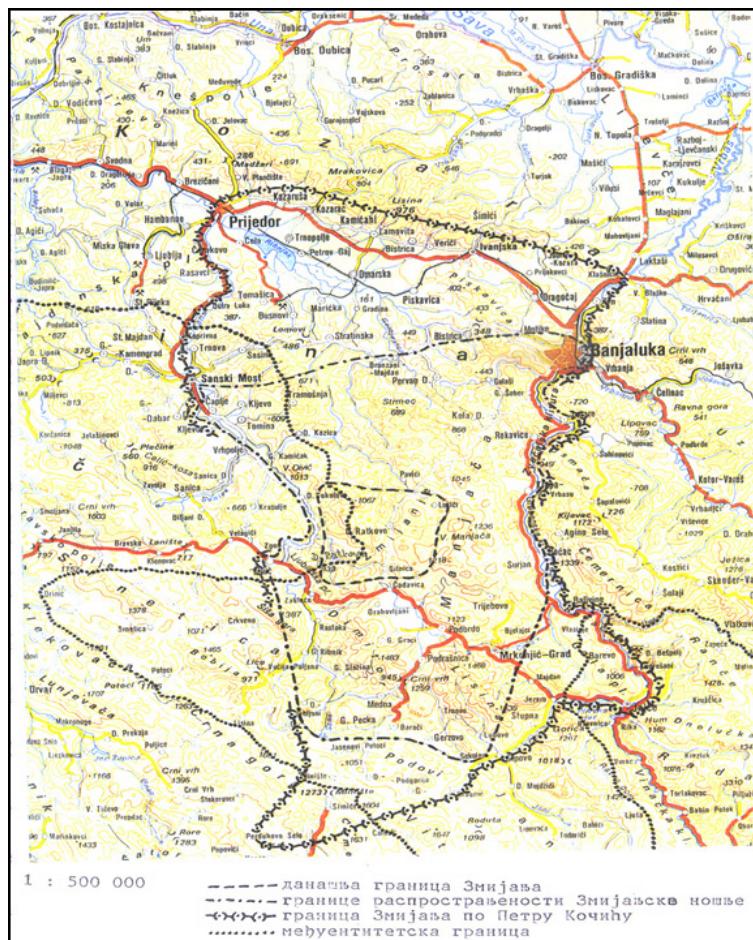
## **УТИЦАЈ КУЛТУРЕ НА РАЗВОЈ РЕГИОНА**

Свака земља и регион је дужна да обезбиједи новац који би се инвестирао за њихов развој. Нарочито код недовољно развијених и руралних подручја, услјед непостојања одређених ресурса за развој, развојем културе побољшава се слика региона, стаус и стварају се нове функције, а главну улогу у свему томе имају елементи културе који стварају регионални имиџ и користе се управо за промовисање региона. Преко економске валоризације, култура може да буде стављена у функцију развоја региона. Постоји више различитих могућности да се то оствари, али најбољи је преко стављања културних ресурса у функцију туризма. На тај начин се обезбеђује да се култура и туризам ставе у функцију веће привлачности за туристе и стварају конкуренцију на тржишту.

## **ГЕОГРАФСКИ ПОЛОЖАЈ ЗМИЈАЊА**

Област Змијање се налази у западном дијелу Републике Српске, односно у сјеверозападном дијелу Босне и Херцеговине. У периоду постојања административно-територијалне јединице, често је мијењало границе. Прије доласка Турске власти, Змијање је постојало као босанска жупа Земљаник, а за вријеме турске владавине, Змијање је организовано као нахија. Данас границе Змијања представљају пријеке Сана и Врбас, на истоку и западу, а на сјеверу дијелом допире

до Бање Луке, а на југу до Mrкоњић Града. То је Змијање у ширем смислу ријечи, док се ужи појам Змијања ограничава на подручје села Кадина Вода – Чајавица, са локалним центрима у Стричићима и Ситници. Подручје Змијања обухвата сљедећа села: Ситница, Горње Ратково, Доње Ратково, Стражице, Соколово, Дујаковци, Лусићи, Локвари, Стричићи. Дејтонским споразумом из новембра 1995. године, Змијање је постало гранична област Републике Српске према Федерацији Босне и Херцеговине. (9, стр. 5)



Слика 1. Географски положај Змијања (9, стр. 6)

Први пописи о становништву Змијања урађени почетком 19. вијека, показују да је Змијање одувијек насељавало српско становништво, православне вјере. Пред крај 19. вијека, Змијање је било релативно слабо насељен крај, а крајем шездесетих година 20. вијека, захвата га снажан процес исељавања. Плански су исељена само села једног дијела Змијања (Добрња, Вилуси, Радманићи), док су села централног дијела Змијања исељавана стихијски, претежно на територију Бачке, Баната, Срема и Славоније те у околину Бање Луке и у Лијевче поље. Ратни сукоби и распад бивше државе Југославије узроковали су додатно исељавање. Срушене су и спаљене куће, објекти, цркве и школе и то је основни разлог због којег се након Дејтонског споразума на своја имања вратило веома мало становништва. (9, стр. 556)

## МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

У раду ће примјеном методе дескрипције бити приказан преглед постојећих елемената културног наслеђа Змијања. Методом компарације, евидентираће се туристичка понуда приказаних елемената на интернет страницама Туристичке организације Републике Српске, Туристичке организације Бања Лука и Туристичке организације града Приједора. Анализом стратешке и планске документације на локалном и ентитетском нивоу, утврдиће се планиране перспективе развоја културних елемената Змијања. Методама анализе и синтезе утврдиће се укупно стање, те дати смјернице за развој туристичке понуде на бази културних садржаја Змијања.

## ЕЛЕМЕНТИ КУЛТУРНОГ НАСЉЕЂА ЗМИЈАЊА

Елементи културног наслеђа чине друштвено богатство једног региона, а Змијање им свакако обилује. Иако је прва асоцијација на ову област наш познати пјесник, писац и политичар Петар Коџић, те Коџићев збор, традиционална манифестација посвећена њему, у раду ће бити описан и други елементи културног наслеђа од којих се као најстарији издвајају стећци проглашени националним спомеником, а као најмлађи Змијањски vez – елемент нематеријалног културног наслеђа Босне и Херцеговине евидентиран на УНЕСКО-вој Свјетској листи.

Некропола са стећцима у засеоку Моцоње и Православно гробље на Стражбеници у селу Шљивно на Добрињи (Бања Лука), предста-

вљају најстарији елемент културног наслеђа на Змијању, проглашен националним спомеником 2007. године (10). Чине га средњовјековна некропола са седам стећака и православно гробље сјеверно од некрополе. На гробљу постоје три врсте надгробних споменика, од којих су најстарији крстови различитих величина, исклесани у седри и месном, шупљикавом сивом камену. Њихову старост није могуће тачно утврдити, али вјероватно припадају становништву од 17. до почетка 19. вијека. Другу скupину чине надгробни споменици у облику плоча, настали прије Другог светског рата, док су најмлађи споменици настали послиje рата, током 40-их и 50-их година 20. вијека. (10)

На простору Змијања, као елементи културног наслеђа издвојена су и три манастира, значајна за религијску праксу становништва овог краја, али и дестинације потенцијално занимљиве за развој религијског туризма.

Древни манастир Крупа налази се у мјесту Крупа на Врбасу недалеко од Бање Луке. У близини манастирске цркве светог Илије налази се рјечица Крупа, на којој се налазе дрвени млинови из народне архитектуре који додатно уљепшавају овај пејзаж. Црква се налази на темељима из 13. вијека на некрополи са стећцима. О цркви није било никаквих писаних трагова до 18. вијека, а своју обнову црква је доживјела 1889. године, за доба аустроугарске власти. (11) Почетком Другог свјетског рата, 1941. године, храм је био запаљен, када су изгорјели и манастирски конаци, а неко вријеме је служио ослободиоцима као бункер и митраљеско гнијездо. Храм је обновљен 1964. године, а Завод за заштиту споменика културе Босне и Херцеговине га је 1970. године прогласио културним добром. (11; 12, стр. 68–69)

У близини манастира Крупа, налази се црква брвнара која потиче из прве половине 18. вијека. О градњи цркве постоје два народна вјеровања. Према првом, Турци су одредили да се црква подигне на локалитету Спасовине, али су мјештани преко ноћи пренијели грађу на данашње мјесто, па су јавили Турцима да је црква прешла (*прелетјела*), а по другом, Турци су бранили да се подигне храм, али је бег Ђумишић дозволио својим кметовима да га направе и чак је дао дукате за градњу. Црква посједује и једну ријектост – јеванђеље штампано у Москви 1778. године. (13, стр. 75–77) Од 2012. године, проглашена је националним спомеником Босне и Херцеговине. (14)

Над манастиром у Крупи издига се још један елемент културног наслеђа, а чине га остаци средњовјековног утврђеног града Гребен, састављени из три степенасто поредана дијела. Овај град се први пут

помиње у изворима 1192. године, а потом 1322. и 1346. године. У 14. вијеку, Гребен је био у посједу феудалне господе Хрватинића, који га је преузео од Угарске. Град је страдао приликом пада Јајачке бановине под Турке 1527–1528. године и чини се да је у периоду турске управе град напуштен. Сва три елемента културног наслеђа евидентирана на територији Крупе на Врбасу тренутно се налазе на Привременој листи националних споменика Босне и Херцеговине (15).

Црква брвнара посвећена Вазнесењу Христовом налази се у Колима, десетак километара југозападно од Бање Луке. Саграђена је у 18. вијеку. Према народном предању, ова црква је саграђена на локалитету Малбоча, али је сам локалитет цркве премјештен у Браниловце, у засеку Трубајићи у Колима. Према предању, разлог премјештања је био стално скрњављење од стране Турака, па су је сељани овог мјesta премјестили током једне ноћи на данашњу локацију, док су тадашњем паши као образложение рекли да је црква сама прешла (*прелетјела*). Иако је 1983. године рађена обнова једног дијела цркве, она је већим дијелом задржала свој првобитни облик. У цркви се чувају иконе светог Петра и Павла из 19. вијека и будимско издање службаника из 1825. године у којем постоји запис Герасима Коџића, гомионичког монаха, и оца Петра Коџића. (13, стр. 77–78). Националним спомеником Босне и Херцеговине проглашена је 2009. године (16).

Манастир Гомионица налази се 42 километра западно од Бање Луке, у селу Кмећани. Историјски извори спомињу манастир Залужје који је постојао у периоду до 1536. године и претеча је Гомионице. Најстарији сачувани артефакт манастира је типик Гомионице из 1599. године, која се данас чува у библиотеци епархије у Араду у Румунији. Манастирски комплекс се састоји од цркве посвећене очувању Богородице, старог и новог конака, старе ограде, чесме и старог сеоског гробља. Главна манастирска црква је осликана фрескама изузетне вриједности. Ризница манастира има значајне збирке икона, рукописа, стarih књига и занатских предмета, а изузетно су вриједне и гомионичке царске двери из 18. вијека и дрворезбарени крст из 17. вијека. Посебан значај и највећу вриједност има икона Пресвете Богородице Одигитрије с краја 15. и почетка 16. вијека. Од 1882. године, у манастиру је отворена школа, коју је похађао чувени књижевник Петар Коџић. Његов отац, свештеник, а касније и монах, сахрањен је на манастирском гробљу. Данас је Гомионица женски манастир које чини сестринство од 12 монахиња које управљају манастирском економијом, а 2006. године, манастир је проглашен националним спо-

меником Босне и Херцеговине. (17, 18)

Манастир Клисина се налази у селу Ништавци, 15 км јужно од Приједора. Манастир је посвећен Светој великомученици Марини (Огњена Марина). Народно предање сачувало је успомену на порушени манастир, који је по свему судећи био посвећен Сретењу Господњем, називајући манастириште Клисина, од грчке ријечи „еклесија“, што значи црква. Приликом копања темеља за садашњи храм, пронађени су темељи стварне цркве. Последња црква запаљена је 1942. године и тада су вјерници тајно спустили звоно у ријеку Сану. По завршетку Другог Свјетског рата, на црквишту је подигнут дрвени звоник и на њега је постављено звоно. Приликом освећења нове цркве, 1993. године, уз храм је подигнут конак и 1998. године, храм је проглашен манастиром. Манастир се налази на Привременој листи националних споменика Босне и Херцеговине и тренутно није ни под каквим режимом заштите. (19)

Након евидентирања елемената непокретног културног наслеђа, евидентираћемо и елементе који се могу свrstati у нематеријално наслеђе од којих се као локално најзначајнији издаваја Кочићев збор, традиционална културна манифестација посвећена књижевнику Петру Кочићу, која се од 1965. године одржава у посљедњој седмици мјесеца августа на више локација у Бањој Луци, Београду и Кочићевим родним Стричићима. Концепт манифестације се временом мијењао, али су сва дешавања у непосредној вези са именом и дјелом великог народног трибуна и пјесника Петра Кочића и обухватају умјетничко и књижевно стваралаштво Змијања. Централна дешавања у оквиру Кочићевог збора одржавају се у задњу суботу и недјељу у августу у Стричићима. Изложба домаћих животиња, такмичење у извођењу ојкача, надметање у народним вјештинама и спортома, те борбе бикова за награду „Јаблан“ су програми који привуку највише посетилаца. Манифестација је пропраћена великим народним збором у Стричићима који посјети од 40.000 до 50.000 људи из свих крајева бивше Југославије. У прилог значају ове манифестације, говоре и чињенице да је Кочићев збор уврштен у календар културних манифестација Бање Луке, те да је под покровitelјством Владе Републике Српске.

За потребе манифестације Кочићев збор, 2013. године у Стричићима је саграђено „Кочићево огњиште“ које чини пет објеката (родна кућа Петра Кочића, дводијелна динарска брвнара, двије зградице и амбар), карактеристичних за крај 19. и почетак 20. вијека који су са околних локација пребачени на место на којем је некада

постојала родна кућа Петра Коџића. У сарадњи са Музејом Републике Српске, аутентичним музејским предметима 2018. Године, уређена је дводневна брвнара, а 2019. године једна зградица, а у плану је даље опремање објекта (20, стр. 243; 21, стр. 6). Локација је у власништву Завичајног друштва „Змијање”, и у склопу Коџићевог збора на овом мјесту се уручује Коџићева награда (књижевна награда за животно дјело) и награда Змијанче (награда за дјечији литерарни рад).

У близини Коџићевог огњишта у насељу Ситница, у близини магистралног пута Рибник – Бања Лука, налази се још један етно објекат – Змијањска кућа, која на оригиналан начин представља како се некада живјело на овим просторима, какав је био начин градње објекта и опремање унутар куће. (22)

Свакако свјетски најпрепознатљивији елемент културног наслеђа са Змијања је Змијањски вез, који се по својој специфичности издаваја не само у регији, већ на цијелом Балкану, а карактерише га усклађеност, хармонија и стилска перфекција геометријских орнамената укомпонованих са модрим колоритом. Познат је као модри вез на бијелом платну. Од средине 19. вијека, практиковале су га жене на Змијању, за украшавање женске одјеће и домаћинства, укључујући вјенчанице, мараме, хаљине и постельину. Змијањски вез је 2014. године уврштен на репрезентативну УНЕСКО-ву листу нематеријалног културног наслеђа и тако је постао свјетско добро, јер садржи снажну симболику која се преноси генерацијама, те промовише креативност, друштвену једнакост и разноликост. (23, стр. 7)

## **ТУРИСТИЧКА ПОНУДА ЕЛЕМЕНТА КУЛТУРНОГ НАСЉЕЂА ЗМИЈАЊА КРОЗ ТОРС И ТОБЛ**

Туристичка организација Републике Српске (ТОРС) је јавна установа, основана од стране Владе Републике Српске са основним циљем промоције туристичких дестинација Републике Српске, путем домаћих и међународних сајмова туризма, туристичких берзи, манифестација, штампаног промотивног материјала, путем интернет презентације, директног контакта са медијима, сарадњом са локалним туристичким организацијама (ТО), али и кроз бројне друге активности. Општи развојни циљ ТОРС-а је изградити имиџ Републике Српске као дестинације безбједне за туризам и улагања, те кроз промотивне активности позиционирати Републику Српску као квалитетну дестинацију за боравак туриста. (24)

Понуда елемената културног наслеђа Змијања на интернет страници ТОРС-а праћена је анализом категорија „доживи Српску“, „дестинације“, „манифестације“ и „откриј Српску“ (25). Категорија „доживи Српску“ нуди низ подкатегорија за претраживање (*национални паркови, планински туризам, бањски туризам, вјерски туризам, авантура, еко-туризам, културни туризам, гастрономија, лов и риболов, сеоски туризам и омладински туризам*). У оквиру подкатегорије *планински туризам*, промовише се Мањача која се издваја као родни крај Петра Коџића у чију част се одржава Коџићев збор (26). Подкатегоријим *вјерски туризам* промовисана су сва три манастира на Змијању, с тим да се уз манастир Крупа на Врбасу спомиње и црква брвнара у његовој близини. О манастиру Клисина написана је само једна реченица, без података о локацији, историји и значају манастира. (27) Средњовјековни град Гребен промовисан је кроз подкатегорију *културни туризам* понудом названом „Средњовјековна утврђења долине Врбаса“ (28).

Категорија „дестинације“ пружа могућност претраживања туристичке понуде кроз праћење издвојених атрактивности у градовима и општинама Републике Српске. Подкатегорије у овој претрази се дјелимично поклапају са подкатегоријама наведеним у категорији „доживи Српску“, наиме ово претраживање нуди и подкатегорију *атрактивности*. Анализом понуде града Бања Лука у подкатегорији *атрактивности*, нуди се обилазак Крупе на Врбасу којим се препоручује Манастир Крупа, средњовјековни град Гребен и црква брвнара (29). Подаци у подкатегоријама *вјерски туризам, културни туризам и планински туризам* се поклапају са подацима из претходне претраге, па у Бањој Луци од културних елемената са Змијања можемо видјети манастире Крупу на Врбасу и

Гомионицу, средњовјековни град и Мањачу (30). Кроз подкатегорију *вјерски туризам* у општини Приједор, промовисан је манастир Клисина (31), а кроз подкатегорију *атрактивности* у општини Рибник, промовисана је Змијањска кућа у Ситници (32).

Категорија „манифестације“ на интернет страници ТОРС-а је потпуно неуређена. Календар који чини главни садржај ове категорије може да се прегледа само према прошлим догађајима, а није могуће погледати манифестације планиране у будућности. Претрагом „у прошlost“ у календару није забиљежена манифестација Коџићев збор. (33)

Категорија „откриј Српску“ такође нуди више подкатегорија за

претраживање (*мана, инфо, УНЕСКО башина, занати, новости, туристичке организације и документи*). Подкатегорија *инфо* представља тзв. „личну карту“ Републике Српске у којој је у оквиру реченице о карактеристикама савременог доба споменут и Кочићев збор (34), а подкатегорија *УНЕСКО башина* пружа основне податке о Змијањском везу (35). У подкатегорији *новости*, нередовно ажурираној, иако се налазе најаве неких манифестација нема најаве за Кочићев збор, нити промоције неког елемента културног наслеђа Змијања (36).

На страници ТОРС-а нема никаквих података о некрополи стећака, ни о Кочићевом огњишту. Манастир Клисина, Змијањска кућа и Кочићев збор се спомињу са неколико штурих информација, док о манастирима Крупа на Врбасу и Гомионица, цркви брвнари, средњовјековном граду Гребену и Змијањском везу имамо нешто више, али ипак недовољно информација.

Туристичка организација града Бања Лука (ТОБЛ) је основана Одлуком Скупштине града Бања Лука 2003. године у циљу валоризације, очувања и заштите туристичких вриједности на подручју града (37). На интернет страници ТОБЛ-а, као званичног сајта туристичких понуда града Бања Лука, могу се пронаћи туристичке атракције (природне и културне) које Бања Лука нуди сходно територији коју овај град обухвата.

Анализа туристичке понуде културних елемената Змијања на интернет страници ТОБЛ-а даје сљедеће резултате. Некропола са стећцима се ни у којем сегменту не спомиње на сајту ТОБЛ-а. Манастир Крупа на Врбасу се налази на сајту у подкатегорији *шта видјети*. Уз манастир је описана и црква брвнара и средњовјековни град Гребен (38). Претрагом подкатегорије *о Бањалуци*, у дијелу културно-историјски споменици, такође се могу наћи подаци о манастиру Крупа на Врбасу и средњовјековном граду Гребен, али и о манастиру Гомионица (39). Манастир Гомионица и Крупа на Врбасу, налазе се и у дијелу *бањалучка излетишта* исте подкатегорије (40). Змијањски вез се спомиње само кроз двије реченице и то у оквиру описа о поставци Музеја Републике Српске у подкатегорији *шта видјети* (38). У подкатегорији *манифестације*, која је приказана кроз календар дешавања, сваке године се у августу најави манифестација Кочићев збор, са пуним програмом за свих седам дана колико траје. Детаљан програм 54. Кочићевог збора одржаног у августу 2019. године је изостао. (41) Издвојених података о Кочићевом огњишту, као ни података о Змијањској кући у Ситници на сајту ТОБЛ-а, нема.

Туристичка организација Приједора је основана према Одлуци о оснивању Скупштине Општине Приједор 2005. године, а основна дјелатност усмјерена је на промоцију и подстицање развоја туризма општине (42). Иако манастир Клисина територијално припада граду Приједору, на интернет презентацији Туристичке организације града Приједора нема података о њему.

Општина Рибник нема туристичку организацију, тако да Змијањска кућа у Ситници која се налази на територији општине Рибник није туристички представљена нигде осим на страници Туристичке организације Републике Српске.

## ПЛАНСКИ И СТРАТЕШКИ ДОКУМЕНТИ

Планска и стратешка документација даје основне податке о планираном развоју одређеног простора. Анализиран је Просторни план Републике Српске, те Просторни планови Бање Луке, Приједора и Рибника. Извршен је увид у Стратегију развоја културе Републике Српске и Стратегију развоја туризма Републике Српске. Анализиране су и стратегије развоја Бање Луке, Приједора и Рибника. Кроз сву документацију, праћени су планови за очување, развој и промоцију наведених елемената културног наслеђа Змијања.

У Просторном плану Републике Српске до 2025. године (43) се спомиње Змијање као подручје културне баштине, мјесто чувања традиције и развоја туризма и мјесто могућег развоја традиционалног и производног занатства. Змијањски вез се наводи као специфичан примјер заштите нематеријалног културног наслеђа од стране УНЕСКО-а. Конкретне планске активности нису наведене. Саставни дио овог документа чини и табела под називом Списак непокретних културних добара у Републици Српској са националне листе споменика Босне и Херцеговине и добара која имају валоризациону основу у складу са Законом о културним добрима Републике Српске. У њој су Некропола са стећцима у засеоку Моцоње и Православно гробље на Стражбеници у селу Шљивно на Добрињи (Бања Лука), цркве брвнаре у Крупи на Врбасу и Хан Колима и манастир Гомионица евидентирани као непокретна добра која се налазе на националној листи споменика Босне и Херцеговине. Валоризациону основу имају стећци и брвнара у Крупи на Врбасу. Средњовјековни град Гребен и манастири Крупа на Врбасу и Клис су евидентирани као елементи Привремене листе националних споменика у Босни и Херцеговини,

чека се њихово проглашење и немају валоризациону основу у складу са Законом о културним добрима Републике Српске и не налазе се у режиму заштите.

Просторним планом Бање Луке (44), Некропола са стећцима у засеоку Моцоње (у Горњем Шљивну) и Православно гробље на Стражбеници, село Шљивно на Добрињи, наводе се као културно наслеђе за које су одлуком Комисије за очување националних споменика прописане мјере заштите. Истим документом планирано је унапређење постојећег туризма (вјерски, манифестациони, спортско-рекреативни, излетнички) у Крупи на Врбасу, као и изградња новог вјерског објекта. Црква брвнара у Крупи на Врбасу наводи се у склопу туристичке зоне Крупе на Врбасу, а цркве брвнаре у Крупи и Хан Колима наводе се као културно наслеђе и објекти за које су прописане мјере заштите. Манастир Гомионица се налази у табели Попис подручја и објеката природе планираних за успостављање заштите у планском периоду, те на листи културно-историјског наслеђа Републике Српске. У просторном плану града Бање Луке, наводи се плато Мањаче као потенцијално мјесто развоја туризма у области туристичких зона и центара. У одјељку Привреда се наводи потреба стимулисања развоја етно-туризма на простору Мањаче. У економско-финансијским мјерама за развој туризма наводи се да се требају створити услови за интегрални развој руралних подручја и њихова интеграција у туристичке токове (кањон Врбаса и плато Мањаче). С обзиром на специфичности постојећег и планираног просторног уређења Града Бања Лука, посебно се напомиње неопходност израде зонинг плана подручја посебне намјене за просторну цјелину заштићени културни пејзаж „Плато Мањаче“.

Град Приједор нема актуелни просторни план, а анализом Просторног плана општине Приједор 2008–2018. (45), налазимо податке о манастиру Клисина, који се наводи као потенцијал за развој културног туризма ове општине. Просторним планом општине Рибник до 2035. године (46) препоручује се формирање етно-паркова да би се заштитила област Змијања на подручју општине Рибник.

У Стратегији развоја туризма Републике Српске за период 2011–2020. године (47), Крупа на Врбасу се наводи као етно локалитет у Транзитним туристичким дестинацијама на коридору Грађашка – Бања Лука – Купрес. Цркве брвнаре се само наводе као дио најатрактивнијих историјских грађевина и споменика сакралне и меморијалне намјене у Републици Српској, а Кочићев збор се набраја само као

културна манифестација међу осталим побројаним манифестацијама које се одржавају у Републици Српској.

У документу Стратегија развоја града Бања Лука у периоду 2018–2027. године (48), од елемената културног наслеђа Змијања спомињу се само Коћићев збор и Змијањски вез у табели Компаративне, конкурентске и јединствене предности Града Бања Лука. Документ Интегрална стратегија развоја града Приједора за период 2014–2024. године (49) не третира манастир Клисину, а Стратегијом развоја општине Рибник за период 2018–2027. године (50), Змијањска кућа се наводи као културно историјско наслеђе општине. Само град Бања Лука има израђену Стратегију развоја туризма града Бања Лука 2013–2020. године (51), у којој се манастири Крупа на Врбасу и Гоменица набрајају међу најзначајније објекте на којима се базира религиозни туризам Бање Луке, а поред њих средњовјековна тврђава Гребен и црква брвнара у Крупи се наводе као објекти у Крупи на Врбасу који привлаче туристе. Стратегијом се подстиче развој урбанистичке инфраструктуре на платоу Мањаче уз чување традиционалне архитектуре – Змијањска кућа. Бања Лука је први град који има Стратегију развоја културе града Бања Лука 2018–2028. (52), у којој се Коћићев збор само наводи у низу манифестација које овај град посједује. Осим збора, ниједан елемент културног наслеђа Змијања од побројаних није наведен у овом документу.

## ЗАКЉУЧЦИ

Иако Змијање не постоји као територијално-административна јединица, оно је област која обилује бројним елементима културног наслеђа који га издвајају од околних крајева и чине га препознатљивим. Прву промоцију Змијање дугује књижевнику и народном трибину Петру Коћићу, рођеном у овом крају, једном од најзначајнијих фигура у српској култури. Његово књижевно дјело извршило је снажан утицај на даљи развој српске писане ријечи, док је његово политичко наслеђе постало темељ различитих политичких оријентација у српском друштву. Петар Коћић је живио овдје и много тога је оставио након свог живота за овај крај и шире.

Културни елеметни сваког подручја чине његово богатство, а на Змијању се издвајају слједећи: некропола са стећцима, манастир Гоменица, манастир Клисина, манастир Крупа на Врбасу, црква брвнара и остаци средњовјековног Гребена у Крупи на Врбасу, црква брв-

нара у Хан Колима, Коћићев збор, Коћићево огњиште, Змијањска кућа, Змијањски вез. Као најрепрезентативнији елементи културног наслеђа на Змијању, могу се издвојити Коћићев збор и Змијањски вез. Коћићев збор због своје вишедеценијске традиције и велике посјећености, јер наиме на овој манифестацији се већ 54 године окупљају десетине хиљада посетилаца из региона. Змијањски вез се истиче као елемент уврштен на свјетску листу нематеријалног културног наслеђа (53), чиме овај крај постаје свјетски препознатљив.

Анализом података са интернет страница Туристичке организације Републике Српске и туристичких организација Бање Луке и Приједора, уочава се неусклађеност података. Елементи културног наслеђа Змијања нису довољно ни јасно испромовисани.

То се најбоље види на примјеру некрополе са стећцима која се не спомиње ни на једној интернет страници, а стављена је под заштиту као национални споменик Босне и Херцеговине. Најбоље испромовисани су манастири Гомионица и Крупа на Врбасу са црквом брванаром и средњовјековном тврђавом. На страници ТОБЛ-а, Змијањски вез се спомиње само кроз 2 реченице, а с обзиром на његов статус, заслужује већу пажњу и бољу промоцију, као и Коћићев збор и Коћићево огњиште. Манастир Клисина и Змијањска кућа се не налазе на сајтовима локалних туристичких организација (општина Рибник и нема туристичку организацију), али су испромовисани на сајту ТОРС-а. Све наведено указује на потребу усклађивања понуда туристичких организација. Поред тога, потребно је дати на значају оним елементима који нису наведени или се спомињу веома штуро, јер они свакако представљају економски потенцијал за развој ове регије.

Анализа планских и стратешких докумената, такође, није дала повољне резултате када су у питању елементи културног наслеђа Змијања. Неки од елемената се такође стидљиво спомињу у овој документацији, без истицања њиховог стварног значаја и потенцијала. Конкретних планова и стратегија развоја за било који од наведених елемената готово и да нема. Змијање са својим културним елементима остаје маргинализовано и неискоришћено. Планирањем промоције елемената културног наслеђа Змијања, њиховим повезивањем са другим туристичким потенцијалима овог простора, као и давањем смјерница за већу туристичку препознатљивост, отварају се нове могућности за развој културног лика Бање Луке и Републике Српске.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Медар-Тањга И, Делић Д, Туристическое предложение этнических объектов в службе охраны и продвижения культурного наследия Республики Сербской, Общественная география в меняющемся мире: фундаментальные и прикладные исследования, 2019., 427–432.
2. [http://www.nasljedje.org/sr\\_RS/kutlrunoistorisjko](http://www.nasljedje.org/sr_RS/kutlrunoistorisjko)
3. Медар-Тањга, И., Пандуревић, Ј., Панић-Кашански, Д. (2017): Нематеријално културно наслеђе. Филолошки факултет, Универзитет у Бањој Луци. Бања Лука.
4. Фулвио, Ш. (2016): Слободно вријеме, путовање и туризам: социолошки приступ. Свеучилиште Јурја Добриле. Пула.
5. Richards, G. (1999): European Cultural Tourism: Patterns and Prospects. Boekman Foundation/Ministry of Education, Culture and Science. Amsterdam.
6. <http://www2.unwto.org/>
7. <http://www.atlas-euro.org/home.aspx>
8. Јелинчић, Д. (2008): Абецеда културног туризма. МЕНДАРМЕДИА. Загреб.
9. Medar-Tanjga I, Patron saint in Zmijanje - Contemporary state and diachronic prospect, 150<sup>th</sup> Anniversary of Jovan Cvijić's birth, Serbian Academy of Sciences and Arts, 2016, 551–565.
10. [http://old.kons.gov.ba/main.php?id\\_struct=6&lang=1&action=view&id=2916](http://old.kons.gov.ba/main.php?id_struct=6&lang=1&action=view&id=2916)
11. <http://www.plemenito.com/sr/manastir-krupa-na-vrbasu-/o147>
12. Гатарић, Д. (2008): Крупа на Врбасу и насеља у њеној околини: антропогеографска проучавања. Географски факултет. Београд.
13. Шево, Љ. (2002). Православне цркве и манастири у Босни и Херцеговини до 1878.године. Глас српски. Бања Лука.
14. [http://old.kons.gov.ba/main.php?id\\_struct=6&lang=1&action=view&id=3372](http://old.kons.gov.ba/main.php?id_struct=6&lang=1&action=view&id=3372)
15. [http://old.kons.gov.ba/main.php?id\\_struct=165&lang=1](http://old.kons.gov.ba/main.php?id_struct=165&lang=1)
16. [http://old.kons.gov.ba/main.php?id\\_struct=6&lang=1&action=view&id=3067](http://old.kons.gov.ba/main.php?id_struct=6&lang=1&action=view&id=3067)
17. [https://www.zapadnirsbi.com/images/PDF/LJSevo\\_gomionica.pdf](https://www.zapadnirsbi.com/images/PDF/LJSevo_gomionica.pdf)
18. <http://aplikacija.kons.gov.ba/kons/public/nacionalniispomenici?sort=idgrad>
19. <http://www.manastirklisina.com/o-nama/istorijat-manastira/>

20. Панић Кашански Д., Медар-Тања И. Етно локације у Републици Српској сагледане са становишта примијењене етнологије: села, домаћинства, куће и збирке, САНУ, Београд, 235-250.
21. Ђукановић, В. (2019): Змијање - Кочићево огњиште. Музеј Републике Српске, Бања Лука.
22. <http://turizamrs.org/zmijanjska-kuca/>
23. Ђукановић, Д. (2015). Змијањски вез – свјетско културно наслеђе. Музеј Републике Српске, Бања Лука.
24. <https://turizamrs.org/o-nama/>
25. <http://turizamrs.org/>
26. <http://turizamrs.org/kategorija/destinacije/planinski-turizam/>
27. <http://turizamrs.org/kategorija/destinacije/vjerski-turizam/>
28. <http://turizamrs.org/kategorija/destinacije/kulturni-turizam/>
29. <http://turizamrs.org/krupa-na-vrbasu/>
30. <http://turizamrs.org/banja-luka/>
31. <http://turizamrs.org/prijedor/>
32. <http://turizamrs.org/ribnik/>
33. <http://turizamrs.org/events/>
34. <http://turizamrs.org/otkrij-srpsku/info/#>
35. <http://turizamrs.org/otkrij-srpsku/unesco-bastina/>
36. <http://turizamrs.org/kategorija/novosti/>
37. <http://www.banjaluka-tourism.com/index.php/sr/>
38. <http://www.banjaluka-tourism.com/index.php/sr/sta-vidjeti/posjetite-9/krupa-na-vrbasu>
39. <http://www.banjaluka-tourism.com/index.php/sr/o-banjaluci/kolona-2/kulturno-istorijski-spomenici>
40. <http://www.banjaluka-tourism.com/index.php/sr/o-banjaluci/kolona-2/banjalucka-izletista>
41. <http://www.banjaluka-tourism.com/index.php/sr/avgust>
42. <http://www.visitprijedor.com/new/index.php/sr/o-nama>
43. <http://www.vladars.net/sr-SP-Cyril/Vlada/Ministarstva/mgr/Documents/Nacrt%20draft%202025%202011%202013.pdf>
44. [http://www.banjaluka.rs.ba/wp-content/uploads/pdf/prostorni\\_plan\\_grada\\_bl/0\\_Prostorni\\_plan\\_BL-tekst.pdf](http://www.banjaluka.rs.ba/wp-content/uploads/pdf/prostorni_plan_grada_bl/0_Prostorni_plan_BL-tekst.pdf)
45. [http://www.prijedorgrad.org/files/sadrzaj/S4513\\_Tekst\\_PPO\\_Prijedor.pdf](http://www.prijedorgrad.org/files/sadrzaj/S4513_Tekst_PPO_Prijedor.pdf)
46. [https://www.opstinaribnik.org/sites/default/files/dokumenti/ppo\\_ribnik-plan\\_0.pdf](https://www.opstinaribnik.org/sites/default/files/dokumenti/ppo_ribnik-plan_0.pdf)
47. <http://www.mvteo.gov.ba/data/Home/%D0%94%D0%BE%D0%BA>

- %D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%20%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%80%D1%81%D0%B8/Strategija\_razvoja\_turizma\_republike\_srpske\_2011\_2020.pdf
- 48. <http://www.banjaluka.rs.ba/gradska-uprava/strategija-razvoja-grada/>
  - 49. [https://www.prijedorgrad.org/files/sadrzaj/S7796\\_S4217\\_Integralna%20strategija%20razvoja%20grada%20Prijedora%202014-2024%20.pdf](https://www.prijedorgrad.org/files/sadrzaj/S7796_S4217_Integralna%20strategija%20razvoja%20grada%20Prijedora%202014-2024%20.pdf)
  - 50. <https://www.opstinaribnik.org/sites/default/files/dokumenti/strategija-razvoja-opstine-ribnik-za-period-2018-2027.-godina.pdf>
  - 51. [http://www.banjaluka.rs.ba/wp-content/uploads/2017/08/Strategija\\_razvoja\\_turizma.pdf](http://www.banjaluka.rs.ba/wp-content/uploads/2017/08/Strategija_razvoja_turizma.pdf)
  - 52. <http://www.banjaluka.rs.ba/wp-content/uploads/pdf-strategija-2018-2028.pdf>
  - 53. <https://ich.unesco.org/en/RL/zmijanje-embroidery-00990>

Слика:

- 1. Медар, И. (2002): Змијањска народна ношња. Музеј Републике Српске. Бања Лука.

# ELEMENTS OF CULTURAL HERITAGE OF ZMIJANJE IN THE TOURISM DEVELOPMENT FUNCTION

Bojan Garić

*bojan.garic05@gmail.com*

**Mentor:** Prof. Irena Medar-Tanjga

*Department of Geography*

*Faculty of Natural Sciences and Mathematics*

*University of Banja Luka*

## Abstract

**Introduction:** Cultural heritage means goods that are inherited from previous generations or that are created in the present. Their importance and value are very important and therefore need to be preserved, both now and in the future. They affect the identity of the settlement, region or state. These goods are most often under the regime of protection, they have a symbolic significance in the minds of people, and on the economic side they represent tourist potential. Many elements are not under protection, but they are found and promoted through the offer of local and national tourist organizations.

**Aim:** In this paper we will present an overview of the elements of the cultural heritage of Zmijanje according to the available data of the Tourist Organization of the Republic of Srpska and the Tourist Organization of Banja Luka.

**Material and Methods:** By using the methods of analysis and synthesis, we will record the existing elements and their representation in the current tourist offer of the Tourist Organization of Banja Luka and the Tourist Organization of the Republic of Srpska.

**Results:** The analysis of the current offer and the review of strategic and planning documents in the field of development of culture and tourism at the level of the City and the Republic of Srpska will determine the planned activities for the promotion of the cultural heritage of Zmijanje.

**Conclusion:** By planning the promotion of the elements of the cultural heritage of Zmijanje, connecting those elements with the other tourist potentials of the area, as well as providing guidelines for their greater tourist recognition, new opportunities are opened for the development of the cultural character of Banja Luka and the Republic of Srpska.

**Keywords:** cultural heritage; Zmijanje; tourism; tourist organizations; strategic and planning documents

## ГЕОФИЗИЧКЕ МЕТОДЕ

Александар Радичев  
*aleksandar.r023@gmail.com*

**Ментор:** проф. др Снежана Коматина

*Технички факултет „Михајло Путин“ у Зрењанину  
Универзитет у Новом Саду*

### Сажетак

При решавању геотехничких проблема, веома значајну примену у пракси имају баш геофизичка истраживања, односно геофизичке методе. Ове методе обухватају велики низ метода којима се утврђује структура, сложеност и грађа самог тла. Индиректним поступком се помоћу ових метода одређују различите инжењерске карактеристике материјала. Такође, ове методе се употребљавају приликом утврђивања распореда, дебљине и својства појединачних слојева испод површине одређеног терена, на којем је предвиђено извођење одређених послова. Ове методе се могу примењивати на више начина и подељене су у неколико група, односно на различите методе испитивања терена тј. испитивање површине.

## **Увод**

Шта су то уопште геофизичке методе? То су методе које се користе у примењеној геофизици. Ове методе се заснивају на испитивању физичких поља која су створена природни или вештачки, у циљу решавања одређених геолошких или геотехничких проблема. У овом раду су обрађени примена и циљ геофизичких метода, као и свака геофизичка метода понаособ, у циљу детаљнијег истраживања и детаљнијег представљања сваке методе.

Приликом обраде ове теме, коришћена је литература добијена од ментора проф. Др Снежане Коматине, као и мноштво радова и рецензија које се могу пронаћи на интернету, који је данас ипак главни извор свих потребних информација приликом неког рада од куће и помаже нама студентима при писању оваквих радова.

У овом раду, покушао сам да направим синтезу писане литературе, односно различитих књига, података који се могу наћи на интернету и разговора са професорима који су компетентни за разговор о овој теми и који нам уједно и помажу највише.

Свака геофизичка метода везана је за проучавање и мерење једног својства стена које се налазе у полупростору.

## **Примена и циљ геофизичких метода**

Ове методе се могу применити на три начина:

- Са извесне удаљености од површи од испитиваног материјала
- Директно са површи испитиваног материјала (површински)
- Испод површи испитиваног материјала (потповршински)

Што се тиче примењивања потповршински, могу се применити у рудницима, пећинама и нафтним бушотинама. У овом последњем случају, геофизичка испитивања се називају *каротажним испитивањима*.

Циљ примене геофизичких метода јесте истраживање Земљине унутрашњости али и вештачких објеката, на пример за потребе археологије и грађевинарства. Поље примене геофизике заснива се на анализи појединих физичких својстава испитиване средине (густина, брзина простирања сеизмичких таласа, електричне и топлотне проводљивости, магнетне сусцептибилности, радиоактивности...).

Значај ових метода лежи у томе што се њиховом применом омо-

гућава брже, лакше и пре свега, што је у данашње време изузетно важно, економичније решавање геолошких проблема, поготово оних везаних за истраживање лежишта минералних сировина, водоснабдевање или искориштавање тла за изградњу грађевинских и хидротехничких објеката.

### **Подела геофизичких метода**

Подела се може извршити на основу тога које се својство стена проучава. Подела се не може извршити неким мерењима јер се ниједно својство стена директно не мери, већ се све рачуна.

Геофизичке методе подељене су на:

- Гравиметрију
- Геомагнетизам
- Геоелектрику
- Сеизмiku
- Електромагнетску методу
- Геофизички каротаж
- Даљинску детекцију

### **Гравиметријска метода**

Ова метода се заснива на коришћењу поља земљине теже, као природно физичко поље, глобалног карактера. Највише се користи за истраживање лежишта нафте али и осталих минералних сировина, као и при решавању различитих проблема из области, тј. домена регионалне геологије.

Један од најважнијих услова за успешну примену ове методе је постојање разлике у густини између материјала од кога је нека структура изграђена и околних стена.

При самој примени гравиметријске методе, испитивано поље се испитује на основу одређивања вредности гравитационог убрзања у тачкама посматрања које су распоређене у одређеној испитиваној области.

Мери се такође и хоризонтални и вертикални градијент убрзања Земљине теже ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Неправилан распоред маса, пре свега у земљиној кори, модификује силу привлачења као компоненту силе теже и доводи до појаве

аномалија у гравитационом убрзању.

## Геомагнетска метода

Геомагнетска метода заснива се на мерењу интензитета магнетског поља Земље и каснијом анализом тих вредности које су добијене мерењем, утврђује се геолошка грађа одређеног истраживаног простора тј. подручја.

Ова метода се састоји из више поступака:

- Аеромагнетска мерења
- Терестричка геомагнетска мерења
- Палеомагнетизам
- Археомагнетизам

**Аеромагнетска мерења** врше се натповршински, приликом истраживања већег подручја, када је магнетометар смештен у репу авиона, или је монтиран на хеликоптеру.

**Терестричка геомагнетска мерења** врше се приликом разних истраживања у геологији, пре свега приликом истраживања лежишта минералних сировина. Мерења се, том приликом, врше директно на терену, инструментима који се називају магнетометри.

**Палеомагнетска мерења** користе се приликом истраживања магнетизма стена током геолошке прошлости, тј. утврђивања њене магнетизације у тренутку настанка стene.

**Археомагнетизам** користи се приликом истраживања археолошких налазишта, а поступак се углавном своди на исте поступке који се примењују приликом палеомагнетских истраживања.



Слика 2. Протонски магнетометар

## Геоелектрична метода

Геоелектрична метода је од свих метода најразноврснија и највише коришћена од свих осталих. Заснива се на коришћењу вештачких и природних физичких поља.

Према подели на природна и вештачка физичка поља, постоји и једна потподела према којој природна поља могу да буду глобалног и локалног карактера (електрични поље земље и поље електричних прањења у атмосфери), док се вештачка поља стварају непосредним одашиљањем једносмерне струје у Земљу.

Да би се ова метода успешно извршила, мора да се испуни услов, што би значило да постоји разлика у електричној проводљивости полупростора испод земљине површи.

Подела геоелектричних поступака се може извршити на основу параметра који се приликом примене методе одређује. Тако се могу издвојити:

- поступак специфичне електричне отпорности (CEO), (слика 5)
- поступак односа пада потенцијала (ОПП), поступак сопственог потенцијала (СП),
- поступак индуковане поларизације



Слика 3. Извор напајања.



Слика 4. Електрода.



Слика 5. Инструмент за CEO.

## **Електромагнетска метода**

Електромагнетска метода припада претходној групи, односно групи геоелектричних метода, али се издваја по томе што се у овој методи користи неизменична струја.

Углавном се примењује при истраживању рудних тела, мада су у новије време разрађени и поступци који могу да се примене и при истраживању воде, близкоповршинских делова тла, и слично.

## **Сеизмичка метода**

Сеизмичка метода се развила на основу сазнања која је прујила сеизмологија<sup>1</sup> и заснива се на феномену преношења еластичних деформација у виду еластичних таласа кроз стенске масе које изграђују Земљину кору. Таласи могу бити изазвани или природно или вештачки. При вештачким изазивањем таласа, карактерише се већа фреквенција у односу на одговарајуће таласе који су добијени природним путем, односно природним земљотресима.

Вештачки изазване еластичне деформације у стенским масама преносе се кроз те масе првенствено као лонгитудинални, трансверзални и површински таласи. Простирање сеизмичких таласа врши се сходно Хајгенсовом и Ферматовом принципу (по коме сеизмички таласи од извора до пријемника, без обзира на средину кроз коју се простиру, стижу за најкраће време).

Током сеизмичке методе разликују се три поступка:

- поступци осматрања простирања директних таласа
- рефрактованих (преломљених) таласа
- рефлексованих (одбијених) таласа.

Параметар који је кључан при примени ове методе је брзина простирања сеизмичких таласа, односно време потребно да сеизмички талас пређе одређену путању између познатих положаја његовог извора и тачке у којој се посматра његов наилазак.

---

<sup>1</sup> Грана геофизике која се бави проучавањем земљотреса, односно кретањем еластичних таласа кроз земљу.



Слика 6. Чекић за изазивање вештачких таласа.



Слика 7. Геофон.

## Геофизички каротаж

Геофизички каротаж<sup>2</sup> представља примену геофизичких метода у бушотини, чиме се добијају подаци који леже дуж осе бушотине, као и у уској зони бушотине.

Ова метода је посебно разрађена ради испитивања бушотина за истраживање и експлоатацију нафте, али је нашла и примену код испитивања бушотина воде, угља, боксита, итд.

Задатак геофизичког каротажа је да се на основу сондажних мерења одреде границе формација, дебљине слојева, густина, порозност, садржај и особине флуида, однос флуида према чврстој фази стена, пропустљивост, хидростатички притисак у слоју, температура, као и да се одреди могућа производња флуида из дате бушотине. Специфичан вид геофизичког каротажа је његово извођење у току процеса производње.

У геофизичком каротажу, доминантну улогу имају геоелектрична метода и радиоактивни каротаж, сеизмичка метода, термокаротаж и магнетни каротаж.

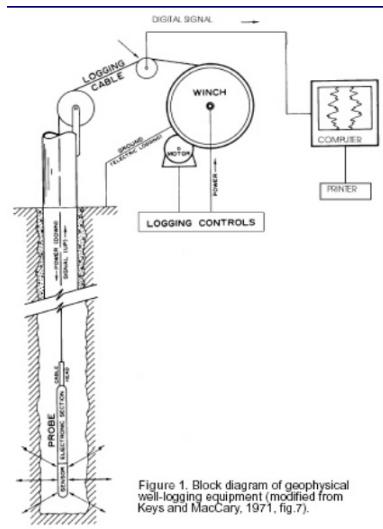
При овој методи, величина простора око бушотине зависи од сис-

<sup>2</sup>Каротажа је метод испитивања земљишног тла анализом вретенастих одрезака земље извучене сондом из слојева различите дебљине.

тема који се примењује, а генерално се сматра да износи од неколико милиметара до неколико десетина сантиметара.



Слика 8. Сонде.



Слика 9. Графички приказан процес.

## Даљинска детекција

Представља метод прикупљања информација путем система који нису у директном, физичком контакту са испитиваном појавом или објектом.

Принцип даљинске детекције своди се на систематско мерење и бележење одбијене или емитоване електромагнетске енергије.

## Закључак

Свака од ових метода је посебна, специфична и намењена је за одређену употребу и одређено истраживање. Гравиметријска метода се заснива на коришћењу поља земљине теже, као природног физичког поља, глобалног карактера. Геомагнетска метода заснива се на мерењу интензитета магнетског поља Земље и каснијом анализом тих вредности које су добијене мерењем утврђује се геолошка грађа одређеног истраживаног простора тј. подручја. Геоелектрична метода је од

свих метода најразноврснија и највише коришћена о свих осталих. Заснива се на коришћењу вештачких и природних физичких поља. Електромагнетна метода се углавном примењује при истраживању рудних тела, мада су у новије време разрађени и поступци који могу да се примене и при истраживању воде, близкоповршинских делова тла и слично. Сеизмичка метода се развила на основу сазнања која је пружила сеизмологија и заснива се на феномену преношења еластичних деформација у виду еластичних таласа кроз стенске масе које изграђују Земљину кору. Геофизички каротаж представља примену геофизичких метода у бушотини, чиме се добијају подаци који леже дуж осе бушотине, као и у уској зони бушотине. Даљинска детекција представља метод прикупљања информација путем система који нису у директном, физичком контакту са испитиваном појавом или објектом.

## Литература

1. <https://se.m.wikipedia.org/sr-ec/>
2. [www.rgf.bg.ac.rs](http://www.rgf.bg.ac.rs)
3. [www.grf.bg.ac.rs](http://www.grf.bg.ac.rs)
4. Gadallah M., Fisher R. 2009. Exploraration Geophysics,Berlin.
5. Yilmaz O, 2001. Siesmic data analysis Tulsa. Society of Exploration Geophysicistc.

# GEOPHYSICAL METHODS

Aleksandar Radičev

*aleksandar:r023@gmail.com*

**Mentor:** Full Prof. Snežana Komatina

*Mihajlo Pupin Technical Faculty in Zrenjanin*

*University of Novi Sad*

## Abstract

In solving geotechnical problems, geophysical research and geophysical methods have a very significant application in practice. These methods include a wide range of methods for determining the complexity and structure of the soil itself. Using the indirect method, different engineering characteristics of the material are determined by these methods. Also, these methods are used to determine the layout, thickness and properties of individual layers beneath the surface of a particular terrain, where specific work is envisaged. These methods can be applied in many ways and are divided into several groups, that is, different methods of testing the terrain, i.e. surfaces tested.

## COINCIDENCE TECHNIQUE FOR INTENSITY TIME VARIATION ANALYSIS OF LOW-ENERGY PHOTONS

Jovana Knežević, Predrag Kuzmanović

*jovana.knezevic@df.uns.ac.rs*

**Mentor:** Full Prof. Dušan Mrđa

*Department of Physics, Nuclear Physics  
Faculty of Sciences, University of Novi Sad*

### Abstract

**Introduction:** In this paper, the coincidence technique based on an HPGe (High Purity Germanium) detector and a plastic scintillation detector is presented. By analyzing the collected data, it is possible to follow the time variation of cosmic ray intensity, above all the muon component, as well as photons, originated as a result of muons' interactions with materials in the vicinity of the detector system. The induced photons are in the low energy region of spectra and provide analyses of spectra in different spectral energy regions.

**Aim:** The detection of rare nuclear processes demands accurate knowledge of the background events that can mimic or camouflage the signal. The developed coincidence technique allows an analysis of the time variations of intensity, as well as a detection of periodic or aperiodic events resulting from solar activity.

**Material and Methods:** The coincidence system based on an HPGe detector and a plastic scintillator was used. The multiparameter system was used for the acquisition of data. The detection of low-energy photons induced by cosmic muons in the vicinity of the detector system was performed by standard gamma spectrometry methods.

**Results:** The developed coincidence technique was shown to be successful in analysing the time variations of cosmic ray intensity, but also in the possibility to analyse background spectra in specific energy regions through following the time variations of low-energy photons induced in the vicinity of the detectors. The detailed analysis is necessary when analysing the spectra with the aim of detecting a rare nuclear event (neutrinoless double beta decay), or possible fluctuations of the radioisotope decay constant. It is expected that it is possible to detect periodic (annual modulation of cosmic ray intensity), or aperiodic events (Forbush effect).

**Conclusion:** The presented technique may be used as a precondition in all experiments with a goal of detecting small probability processes and also to preclude an inadequate interpretation of the detected signals.

**Keywords:** low-energy photons; muons; gamma spectrometry; coincidence system

## INTRODUCTION

Detection of rare nuclear events (as for example, neutrinoless double beta decay) is followed by a careful analysis of the background. The signals from the background can mimic or camouflage the signal from a rare nuclear event, thus one may create an inadequate interpretation of the experimental data. For this reason, special attention is dedicated to the reduction of possible additional sources of the background, as well as the analysis of the existing background. One of the main contributors to the background is cosmic rays (CR), mainly their muon component. CR muons are produced with enough energy to create secondary particles in the interactions with materials in the vicinity of the detector system. The production of photons by CR muons within some material is a result of relatively complex electromagnetic processes, resulting in bremsstrahlung, annihilation quanta, or X-ray fluorescence lines [1]. The muon-induced photons are low-energy (up to  $\sim$ 4 MeV) and can have a continuous [2] or discrete spectrum [3]. If there are possible variations in the intensity of CR, they will have an impact on the variation of photons also, leaving an imprint in the registered spectra in different spectral regions.

In order to analyse the contributions of CR in the spectra, it is necessary to follow the intensity time variations of CR. The current systems for exploring the CR variations [4] on the earth's surface are mainly based on the direct detection of CR muons by using different detectors (for example, scintillators) [5, 6], or on the detection of neutrons of CR-origin [7]. The experiments based on the detection of muons are pure counting experiments and involve a registration of the muon flux (number of muons in time per unit of the detector surface). In this paper, the coincidence technique for CR intensity exploration via low-energy photon detection was presented, providing an analysis of the spectra in a different energy region. This possibility allows the careful analysis of the selected energy part of the spectra, within the region where, for example, a signal of a rare nuclear event is expected to be found. It is also worth mentioning that the pattern of intensity variations of CR does not necessarily have to match the pattern of CR induced photons within certain energy region, hence the differences between intensity variations of annihilation quanta and X-ray fluorescence lines may exist. On the other hand, the intensity variations of CR induced photons within the total energy region correspond to the CR muon intensity variations [8].

Furthermore, the time variation of CR intensity detected with the pre-

sented coincidence technique could also be used for the detection of a possible periodic behaviour such as that related to the solar rotation [9], CR annual modulation [10, 11], or even the registration of single events (like Forbush effect) resulting from solar activity [12–14]. The technique for analysing the low-energy photon intensity variations could also be suitable when the possible fluctuations of decay constant of different radionuclides [15–17] are searched for. In this case, when the certain gamma line intensity is monitored, the intensity variations of the background should be also considered in the corresponding energy region. In addition, intensity variations of low-energy muon-induced photons can significantly influence the search for predicted dark matter particles (WIMPS) [18–22].

Aside from photons induced by muons and the soft component of CR in the detector vicinity, relatively high flux ( $\sim 3000 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) of CR-origin photons reaches the surface of the Earth. The maximum energy in the spectrum of these photons in open areas is at about 90 keV [23]. In order to distinguish the low-energy photons of CR origin from air-backscattered environmental gamma rays [24], the coincidence measurements are required [25]. The coincidence technique presented in this paper is based on an HPGe detector and a plastic scintillation detector.

## MATERIALS AND METHODS

The experimental set-up was located on the ground level (80 m a.s.l), inside the laboratory of the Department of Physics, Faculty of Sciences in Novi Sad (45.245161°N, 19.851909°E). The detection system was below the five-storey building with ceilings made of 15-cm-thick concrete layers. The coincidence system was based on an extended-range HPGe detector and a plastic scintillation detector (Fig. 1). Inside the laboratory, the temperature, atmospheric pressure and relative humidity are controlled and monitored within the interval of one hour each day, thus possible influences of these parameters [26] on the detection system are minimized.

The HPGe detector contains a planar shape Ge crystal (thickness 35 mm, diameter 80 mm, sensitive detector surface  $5\,000 \text{ mm}^2$ ) with a carbon fiber window. The carbon fiber window is only 0.6 mm thick and made of high-strength carbon fiber composite, providing an 85% transmission for photon energy above 15 keV, and almost a 100% transmission for photon energy above 20 keV. The plastic scintillation detector is a circular shape with a diameter of 20 cm and thickness of 5 cm. In order to reduce the number of the detected environmental gamma rays, the HPGe detector was

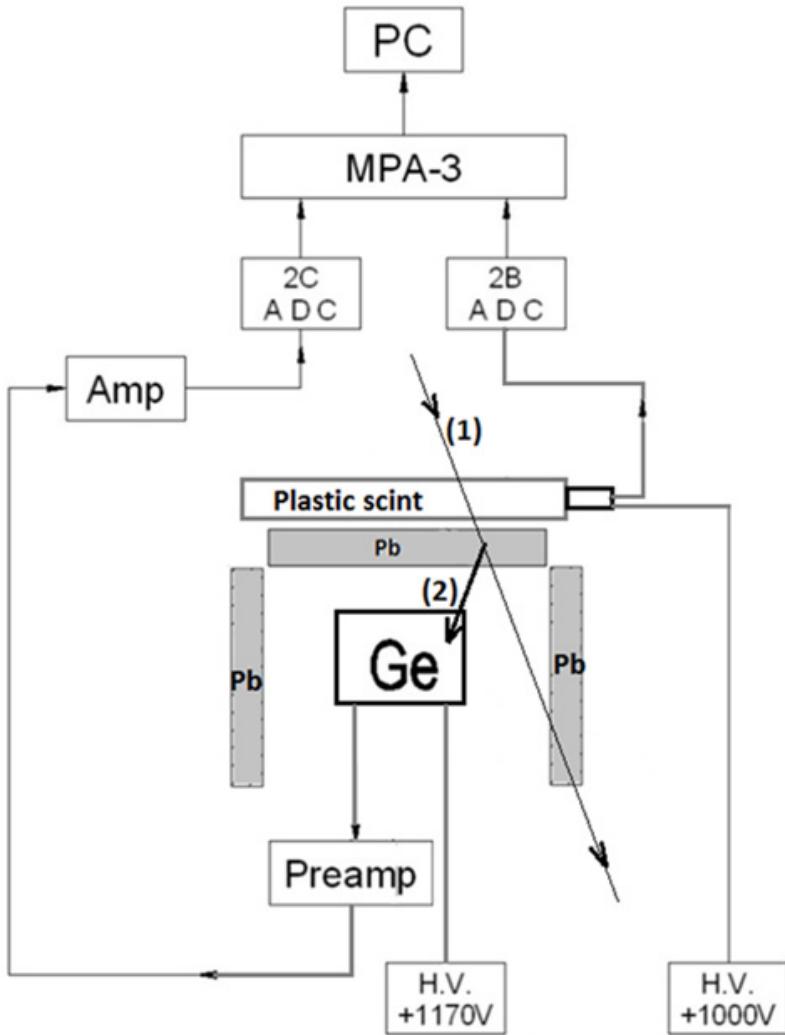


Fig. 1 Schematic view of the coincidence system for detection of low-energy photons. Abbreviations: H.V. – High Voltage Power Supply, Preamp. – Preamplifier, Ge – Germanium Detector, Pb – Lead Shield, Plastic scint. – Plastic Scintillation Detector, Amp. – Amplifier, ADC – Analog to Digital Converter, MPA-3 – Multiparameter Data Acquisition System, PC – Personal Computer, (1) – Incident particle, (2) – Induced secondary particle.

surrounded laterally and from the top with 5-cm-thick lead shields (Fig. 2). The plastic scintillator was positioned at the distance of 15 cm from the HPGe detector end-cap, forming in this way a solid angle of  $\sim \frac{1}{11} (4\pi \text{ sr})$  in which the muons are registered.

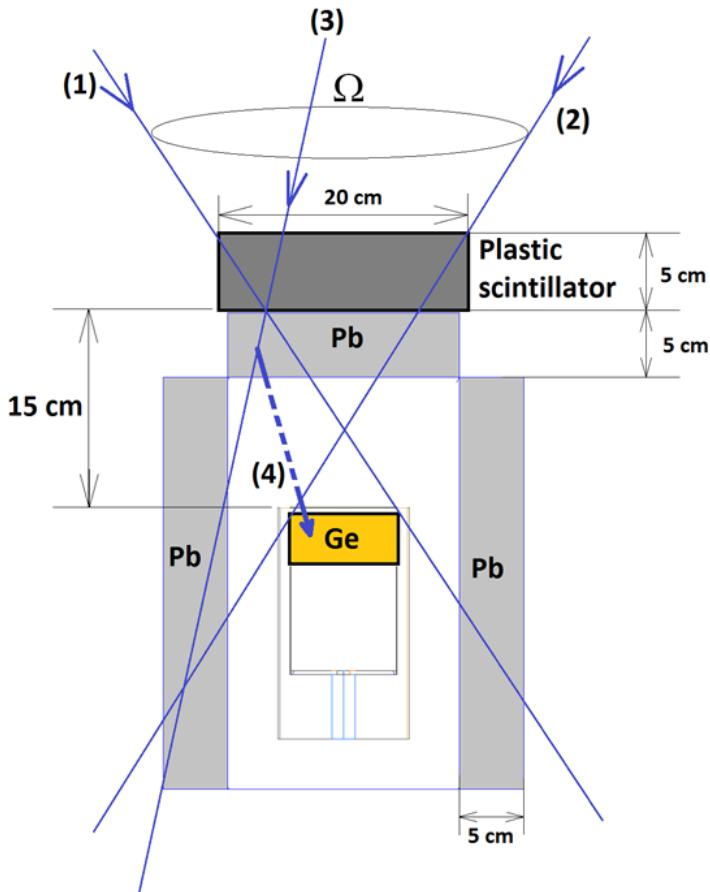


Fig. 2 Arrangement of plastic scintillator, HPGe detector and Pb shield in the experimental setup. Paths of incident particles (1) and (2) constrain the solid angle  $\Omega$  in which direct coincidence events between two detectors may occur, leading to the non-detected high-energy part of the HPGe detector spectrum. Incident particle (3) interacting with the plastic detector and secondary induced particle (4) detected by the HPGe detector represent an example of a coincident event, which gives contribution to the low-energy part of gamma spectrum obtained by HPGe detector (10 keV–1 MeV).

The detectors operated in the coincidence mode with 20- $\mu$ s coincidence interval. Data were acquired for 42 days (from 27 April to 8 June 2018). The cut-off for the plastic scintillator spectrum was set at  $\sim$ 4 MeV by corresponding LLD (low-level discriminator) of analog to digital converter (ADC), thus reducing the contribution of chance coincidence and rejecting the environmental gamma rays (originating from natural decay series of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and primordial radionuclide  $^{40}\text{K}$ ). The LLD for the HPGe detector was set to zero, allowing the detection of photon energy above 5 keV (the only limitation was the transmission of the photons through the carbon fiber window). The upper energy limit was about 4.5 MeV. According to these settings, the energy region for the detection of photons induced by CR with this coincidence system was 5 keV–4.5 MeV.

The acquisition of data was conducted using an MPA-3 multiparameter system [27]. This system allows the collection of several spectra (Fig. 3):

- 1) Coincidence spectrum of the HPGe detector (Fig. 3a);
- 2) Coincidence spectrum of the plastic scintillation detector (Fig. 3b);
- 3) Two-dimensional (2D) coincidence spectrum of the plastic and HPGe detector (Fig. 3c);
- 4) Two-dimensional (2D) spectrum of coincidence events from the HPGe detector as a function of time.

The time bin size of one channel was 0.5 h, while the data were collected for 42 days, thus at the end of the acquisition roughly 2 000 points were obtained. In the coincidence spectrum of the HPGe detector, two lines are prominent: Pb X-ray fluorescence lines and the annihilation line. In the coincidence spectrum of the plastic scintillation detector, the most prominent is the muon energy deposition peak with the average energy of about 10.5 MeV. The color of the dots in 2D spectra represents the number of events acquired within each channel.

It can be clearly seen from Figs. 3b and 3c that LLD for the plastic scintillator is set at 4 MeV.

The MPA-3 software provides a possibility for offline analysis of the collected data. Hence, in each of the collected spectra, certain energy regions could be selected (low-energy region, the region of annihilation quanta, and the region of Pb X-ray fluorescence lines) (Fig. 4a).

## RESULTS

The quality of the developed coincidence system was tested by comparing the coincidence and direct spectrum of the HPGe detector through an

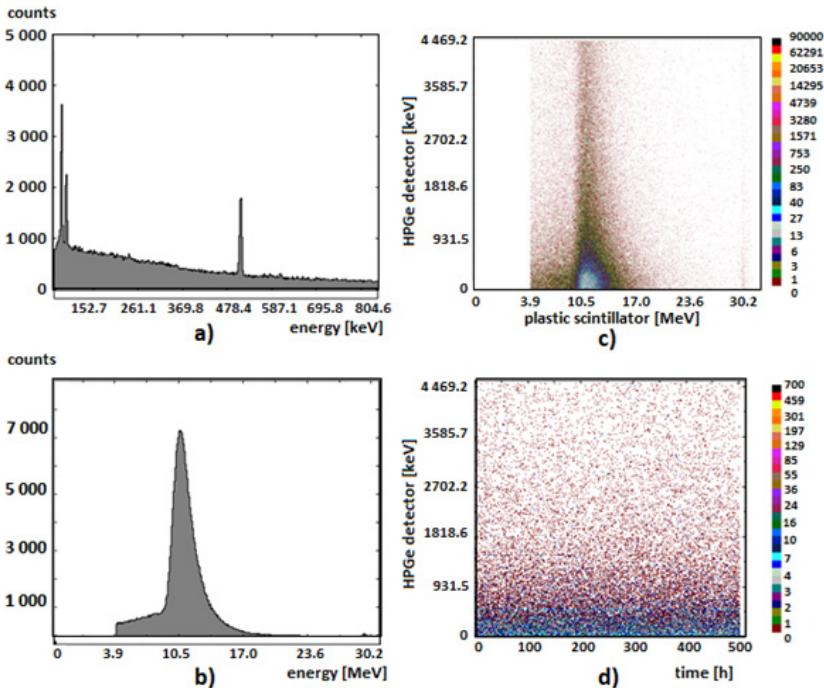


Fig. 3 Spectra obtained with MPA-3 multiparameter device: coincidence spectrum of HPGe detector (a), coincidence spectrum of plastic scintillation detector (b), two-dimensional spectrum of the plastic and HPGe detector (c), two-dimensional spectrum of events collected in HPGe detector depending on time (d).

estimation of the chance coincidence contribution. The coincidence spectrum was obtained by an offline selection of the energy region 50 keV–4.5 MeV in the 2D spectrum (Fig. 3c) and projection of it onto the y-axis. An example of selecting the region of annihilation, and projecting it onto the y-axis is shown (Fig. 4a). The result is the dependence of the counts of the annihilation line with time, presented in Fig. 4b. The same procedure could be applied to any energy region of the spectrum. In this paper, three regions were selected for analysis: low-energy region (10–1120 keV), annihilation line region (511 keV) and Pb X-ray fluorescence lines region (75 keV and 84 keV).

As can be seen from Fig. 5, the differences in the intensities of the coincidence spectrum and the direct (single) spectrum are obvious. The net count rate in the coincidence spectrum and the direct spectrum of the HPGe detector was found for the energy region 50 keV–4.5 MeV. The ratio

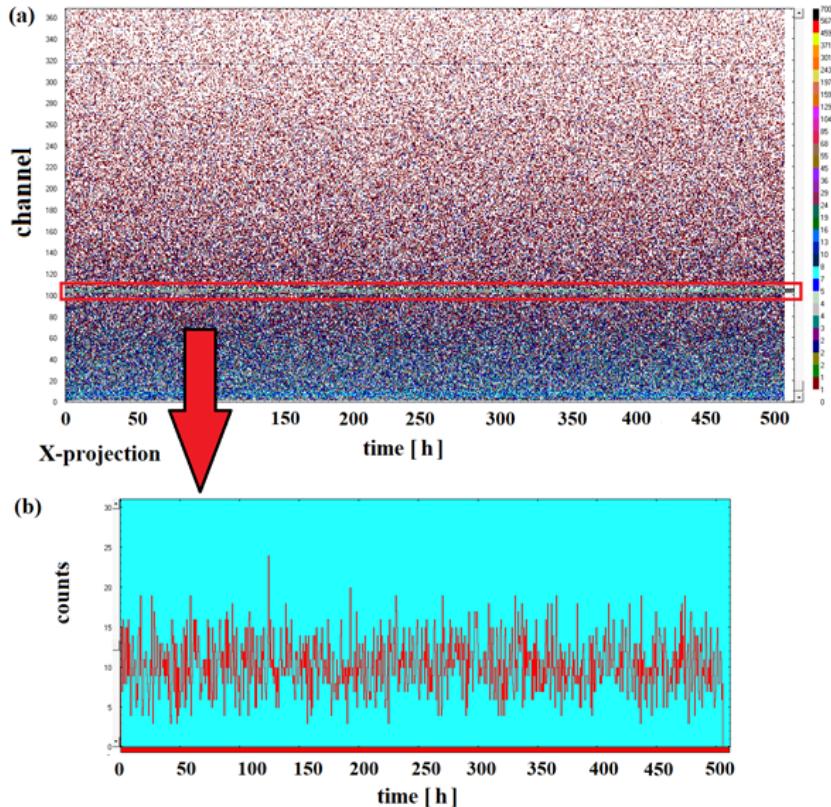


Fig. 4 Example of selecting energy region of annihilation line in coincidence spectrum of HPGe detector depending on time (a), intensity variations of annihilation line in time (raw experimental data) obtained after a projection of selected energy region (b). It should be noticed that on the y-axis of (b) channels are represented, while to each channel the energy could be assigned.

of intensities was obtained to be  $\frac{I_{\text{single}}}{I_{\text{coinc}}} \approx 45$

The dominant line regarding the chance coincidence is 1460.8 keV gamma line originated from  $^{40}\text{K}$ . The  $^{40}\text{K}$ —the line was found to be  $\sim 2.2$  times higher than the background continuum in the coincidence spectrum, while it was  $\sim 42.5$  times higher than the continuum in the single spectrum. The ratio  $2.2/42.5$  is about 5%, showing a small contribution of a chance coincidence to the coincidence spectrum of the HPGe detector and proving the efficiency of the coincidence system to register only pure muon component contribution.

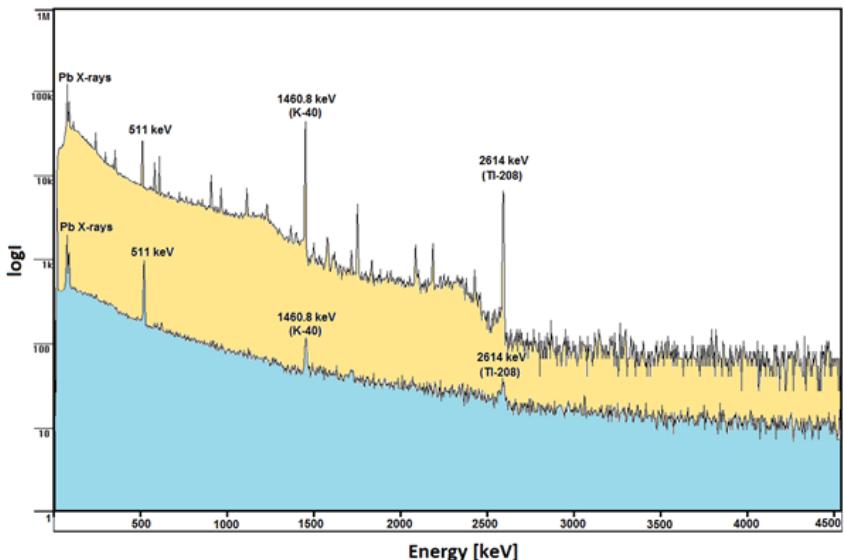


Fig. 5 The comparison between direct (single) spectrum (upper) of HPGe and coincidence spectrum of HPGe (lower). The most prominent gamma lines are marked, while differences in intensities of lines are obvious.

In order to study low-energy photon variations during the experimental acquisition time, the described procedure of selecting the appropriate regions of the 2D spectrum and projecting it onto the time axis was applied for the three regions. Then, it was necessary to conduct the analysis of intensity time variations. Firstly, the raw data (divided into 0.5-h wide bins) were averaged over 6-h time intervals. Also, the mean count rates with standard deviations were found for the total acquisition time. The obtained spectra were presented in the following way: on the x-axis the time in hours; on the y-axis the relative deviations from mean values in counts; the raw data divided in 6-h time bins (light-blue vertical lines); the raw data averaged over 6-h time interval (black line); maxima and minima of 6-h time interval averaged data (red dots); corridor of uncertainty of averaged data at the 68% confidence level (gray line); standard deviation of mean value derived from raw data (green line). The three selected spectra are obtained (Fig. 6) following the procedure as it was described.

Additionally, the possible periodic behavior of muon-induced low-energy photons was analysed by applying the Fourier and Lomb-Scargle algorithms [28], but on raw experimental data. The Fourier algorithm trans-

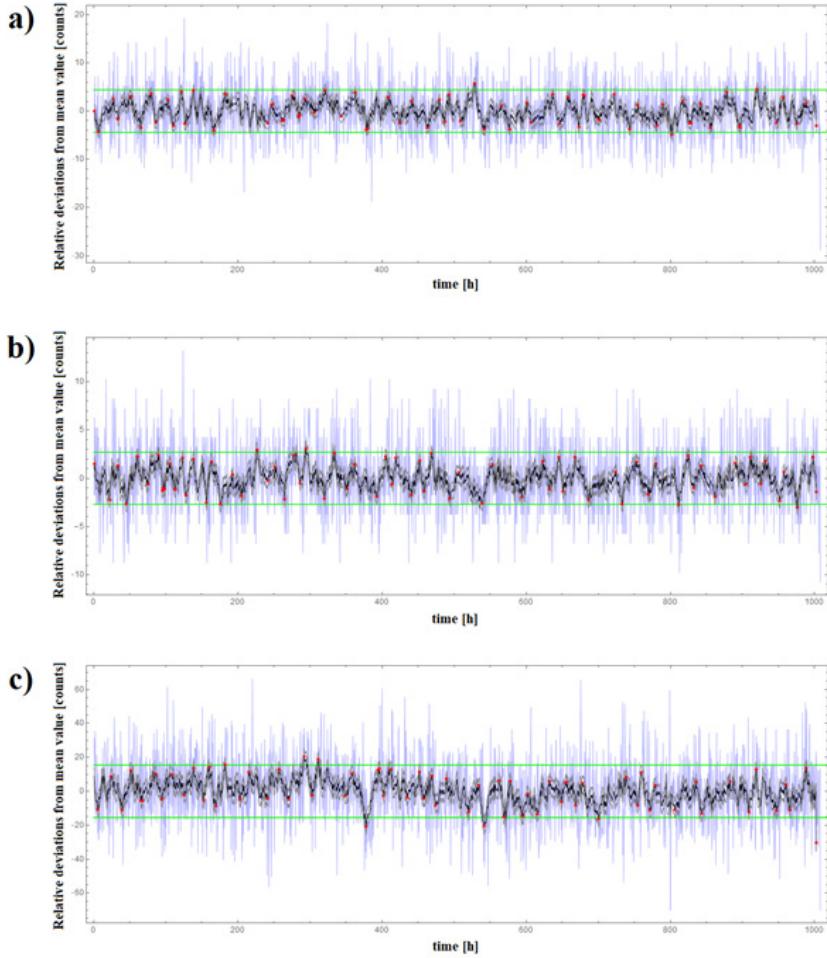


Fig. 6 Low-energy photon variations depending on time for selected energy regions: 70–90 keV, Pb X-ray fluorescence line (a), 511 keV, annihilation line (b), and 10–1220 keV, low-energy region (c). The red dots represent maxima and minima of 6-h averaged data. As can be seen, no significant deviations are found within the 42 days of acquisition.

forms the function into the sets of sinusoidal functions with a continuum of possible frequencies. The Lomb-Scargle periodogram is a well-known algorithm for detecting and characterizing periodic signals in unevenly-sampled data [29]. The example of applied algorithms on the low-energy photon region (10–1220 keV) is presented (Fig. 7).

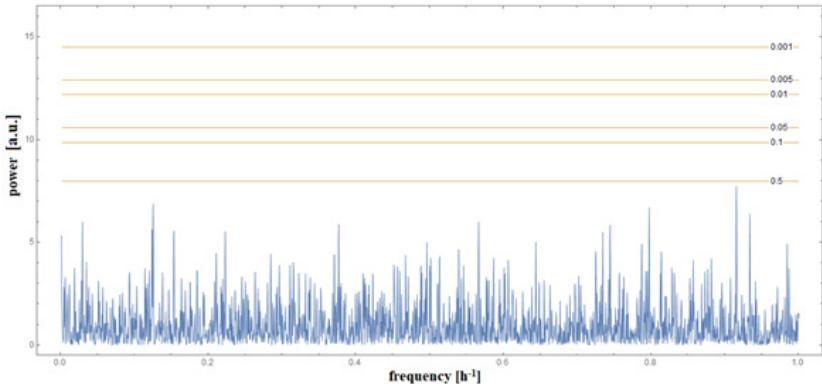


Fig. 7 Lomb-Scargle periodogram with the corresponding significance level (of global character) applied on the energy region of low-energy photons (10–1220 keV).

## DISCUSSION

The developed coincidence technique was tested in order to prove the quality of the detection system for intensity variations of low-energy photons induced by CR-origin muons in the vicinity of the detectors. The performances of the system were analysed by selecting the different regions of the plastic scintillation detector and the HPGe detector in direct (single) and coincidence spectrums, thus estimating the negligible contribution of chance coincidences. One of the possible analyses of the collected data—Fourier and Lomb-Scargle analyses are conducted in order to search for possible periodic or aperiodic behaviours.

The experiment was performed in a controlled environment. The temperature, pressure and relative humidity were monitored, thus the possible influences of these parameters on the detection system [26] were minimized. However, the correlation between the atmospheric temperature or pressure and intensity variation of the CR-induced low-energy photons [30, 31] was not searched for.

As can be seen from Fig. 6, no significant deviation was noticeable for all three selected regions. The maxima and minima of the 6-h time-averaged data (red dots) are within two sigma region of the mean count rate. The only remarkable event that can be described as a weak aperiodic Forbush-like indication (decrease in the intensity on Fig. 6c) appeared at around 380 h of data acquisition (this event corresponds to 13 May 2018

at 12 a.m. UT).

The Lomb-Scargle periodogram did not show any periodicity of low-energy photons, at a significant level  $\alpha=0.05$  during the 42 days of acquisition. The similar absence of the periodic behaviour of low-energy photon intensity was also revealed for two other selected regions—Pb X-ray fluorescence lines and the annihilation line. If the goal would be the detection of the weak CR annual modulation seen by Borexino at the percent level [10, 11] with the presented coincidence technique, it is estimated that this experiment would be sensitive to  $\sim 2\%$  variations of 24-h averaged data in the case when the region of low-energy photons is selected (10–1220 keV).

## CONCLUSIONS

In this paper, a new approach for the analysis of intensity time variations of CR-origin low-energy photon was presented. The coincidence system based on an HPGe detector and a plastic scintillation detector was used for the acquisition of data. The details of creating the time-dependent spectrum of specific energy regions from the collected 2D spectrum were explained. Three energy regions (low-energy region, annihilation line and Pb X-ray fluorescence line) were analysed for aperiodic events, however, no significant aperiodic intensity deviations were found. The absence of significant periodic behaviours was also remarkable in all three selected energy regions of the collected data during the 42 days of acquisition.

In comparison to the statistics of the collected CR events in dedicated muon stations [32–35], the statistics obtained with the presented coincidence technique is significantly lower, but this approach allows the possibility to explore the CR intensity variations with time simultaneously with low-energy photon intensity variations within different energy regions. Thus, the technique can be applied in any experiment with the aim of detecting rare events (i.e. small probability events), where the influence of the low-energy photon intensity variations cannot be neglected. Independently from the search for rare nuclear events, the technique can be utilized in the analysis of possible small fluctuations of decay constants of radionuclides, or in the detection of dark matter particles, which are also newsworthy areas of research. At the same time, the CR intensity variations could be used for the detection of periodic or aperiodic events related to solar activity.

## REFERENCES

- [1] Bikit, I., et al. Production of X-rays by cosmic-ray muons in heavily shielded gamma-ray spectrometers, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2009, 606, 495–500, doi.org/10.1016/j.nima.2009.05.153.
- [2] Heusser G. Cosmic ray interaction study with low-level Ge-spectrometry, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1996, 369, 539–543, doi.org/10.1016/S0168-9002(96)80046-5.
- [3] Puzovic J, Anicin I. Production of positron annihilation radiation by cosmic-rays near sea level, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2002, 480, 565–570, doi.org/10.1016/S0168-9002(01)01224-4.
- [4] Compton A.H. Time variations of cosmic ray, Journal of the Franklin Institute, 1939, 227, 607–620, doi.org/10.1016/S0016-0032(39)90588-0.
- [5] Apel W.D. The KASCADE-Grande experiment, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2010, 620, 202–216, doi.org/10.1016/j.nima.2010.03.147.
- [6] Chiavassa A, et al. KASCADE-Grande experiment measurements of the cosmic-ray spectrum and large scale anisotropy, Nuclear and Particle Physics Proceedings, 2016, 279–281, doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2016.10.009.
- [7] Darzi M.A, et al. Cosmic ray modulation studies with Lead-Free Gulmarg Neutron Monitor, Astroparticle Physics, 2014, 54, 81–85, doi.org/10.1016/j.astropartphys.2013.11.010.
- [8] Knezevic J. et al. Simple coincidence technique for cosmic-ray intensity exploration via low-energy photon detection, Applied Radiation and Isotopes 151, 2019, 157–165, doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.06.009.
- [9] Alania M.V, et al. Features of 27-day variations of galactic cosmic rays and of Solar activity, Advances in Space Research, 1999, 23, 471–474.
- [10] Angelo D. D'. Seasonal modulation in the Borexino cosmic muon signal, 32nd international cosmic ray conference, 2011, Beijing, 26.
- [11] Bellini G, et al. Cosmic-muon flux and annual modulation in Borexino at 3800 m water-equivalent depth, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 2012, 05, 015, doi.org/10.1088/1475-7516/2012/05/015.

- [12] Angelov I, Malamova E, Stamenov J. The Forbush decrease after the GLE on 13 December 2006 detected by the muon telescope at BEO-Moussala, *Advances in Space Research*, 2009, 43, 504–508, doi.org/10.1016/j.asr.2008.08.002.
- [13] Belov A.V, et al. The spectrum of cosmic ray variations during the 19th-22nd Solar cycles, *Radiation Measurements*, 1996, 26, 471–475.
- [14] Bhaskar A, et al. A study of secondary cosmic ray flux variation during the annular eclipse of 15 January 2010 at Rameswaram, India, *Astroparticle Physics*, 2011, 35, 223–229, doi.org/10.1016/j.astropartphys.2011.08.003.
- [15] Cooper P.S. Searching for modifications to the exponential radioactive decay law with the Cassini spacecraft, *Astroparticle Physics*, 2009, 31, 267–269, doi.org/10.1016/j.astropartphys.2009.02.005.
- [16] Jenkins J.H, et al. Evidence of correlations between nuclear decay rates and Earth-Sun distance, *Astroparticle Physics*, 2009, 32, 42–46, doi.org/10.1016/j.astropartphys.2009.05.004.
- [17] Veprev D.P, Muromstev V.I. Evidence of solar influence on the tritium decay rate, *Astroparticle Physics*, 2012, 36, 26–30, doi.org/10.1016/j.astropartphys.2012.04.012.
- [18] Agnese R, et al (SuperCDMS Collaboration). Search for Low-Mass WIMPs with Super CDMS, 2014, arXiv:1402.7137. doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.241302.
- [19] Akerib D.S, et al (LUX Collaboration). Results from a search for dark matter in the complete LUX exposure, 2017, arXiv:1608.07648. doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.021303.
- [20] Amole C, et al (PICO Collaboration). Dark Matter Search Results from the PICO-60 C3F8 Bubble Chamber, 2017, arXiv:1702.07666. doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.251301.
- [21] Aprile E, et al (XENON Collaboration). Dark Matter Search Results from a One Tonne Year Exposure of XENON1T, 2018, arXiv:1805.12562. doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.111302.
- [22] Ditlov V.A. Track theory and nuclear photographic emulsions for Dark Matter searches, *Radiation Measurements*, 2013, 50, 7–15. doi:10.1016/j.radmeas.2012.11.016.
- [23] Mrdja D, et al. Study of radiation dose induced by cosmic-ray origin low-energy gamma rays and electrons near sea level, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2015, 123, 55–63, doi.org/10.1016/j.jastp.2014.12.007.

- [24] Swarup J. Photon spectra of gamma rays backscattered by infinite AIR. II. Skyshine, Nuclear Instruments and Methods, 1980, 172, 559–566, doi.org/10.1016/0029-554X(80)90349-3.
- [25] Mrda D, et al. Time resolved spectroscopy of cosmic-ray muons induced background, Astroparticle Physics, 2013, 42, 103-111, doi.org/10.1016/j.astropartphys.2012.12.007.
- [26] Angevaare N.S, et al. A Precision Experiment to Investigate Long-Lived Radioactive Decays, 2018, arXiv:1804.02765. doi.org/10.1088/1748-0221/13/07/P07011.
- [27] MPA-3 User Manual. Multiparameter Data Acquisition System, Version 159, 2005.
- [28] Press W.H, et al. Numerical Recipes in Fortran 77—The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, 1992, 569–557.
- [29] VanderPlas J.T. Understanding the Lomb-Scargle Periodogram, arXiv:1703.09824v1 [astro-ph.IM]. doi.org/10.3847/1538-4365/aab766.
- [30] Adamson P, et al. (MINOS Collaboration). Observation of muon intensity variations by season with the MINOS far detector, Phys. Rev. D, 2010, 81, 012001. doi.org/10.1103/PhysRevD.81.012001.
- [31] Tilav S, et al. Atmospheric Variations as observed by IceCube, Proceedings of the 31st ICRC, 2009, Lodz, Poland, 10–16.
- [32] Angelov I, et al. Muon telescopes at basic environmental observatory Moussala and South-West University—Blagoevgrad, Sun and Geosphere, 2008, 3(1), 20–25.
- [33] Da Silva M.R, et al. Global muon detector network observing geomagnetic storm’s precursors since March 2001, Proceedings of the 31st ICRC, 2009, Lodz, Poland, 3174–3178.
- [34] Ganeva M. Seasonal variations of the muon flux seen by muon telescope MuSTAnG, Journal of Physics: Conference Series, 2013, 409, 012242, doi:10.1088/1742-6596/409/1/012242.
- [35] Jansen F, et al. Muon detectors—the real-time, ground based forecast of geomagnetic storms in Europe, 2001, ESA Space Weather Workshop, ESA WPP-144.

# KOINCIDENTNA TEHNIKA ZA ANALIZU VREMENSKIH VARIJACIJA INTENZITETA NISKOENERGETSKIH FOTONA

Jovana Knežević, Predrag Kuzmanović

*jovana.knezevic@df.uns.ac.rs*

**Mentor:** prof. dr Dušan Mrđa

*Departman za fiziku, Katedra za nuklearnu fiziku*

*Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*

## Sažetak

**Uvod:** U radu je prikazana koincidentna tehnika koja se sastoji od HPGe (High Purity Germanium) i plastičnog scintilacionog detektora. Na osnovu prikupljenih podataka, moguće je pratiti vremenske varijacije intenziteta kosmičkog zračenja, pre svega njegove mionske komponente, kao i fotona koji su rezultat interakcije miona sa materijalima u okolini detektorskog sistema. Indukovani fotoni su u regionu niskih energija dobijeni spektara i omogućavaju analize spektra u specifičnim energetskim regionima.

**Cilj:** Detekcija retkih nuklearnih procesa zahteva precizno poznavanje fonskih dogadaja koji mogu maskirati ili oponašati traženi signal. Razvijena koincidentna tehnika omogućava praćenje vremenskih varijacija intenziteta, kao i detekciju periodičnih i aperiodičnih dogadaja koji su posledica Sunčeve aktivnosti.

**Materijal i metode:** U radu je korišćen koincidentni sistem koji se sastoji od HPGe i plastičnog scintilatora. Za prikupljanje podataka korišćen je multiparametarski sistem. Detekcija niskoenergetskih fotona indukovanih mionima u okolini detektorskog sistema se vrši standardnim gama-spektrometrijskim metodama.

**Rezultati:** Razvijena koincidentna tehnika se pokazala uspešnom u analizi vremenskih varijacija intenziteta kosmičkog zračenja, kao i u mogućnosti analize fonskih spektara u specifičnim energetskim regionima kroz praćenje vremenskih varijacija niskoenergetskih fotona indukovanih u okolini detektora. Ovako detaljna analiza je neophodna prilikom analize spektara sa ciljem detekcije retkih nuklearnih procesa (npr. bezneutrininskog dvostrukog beta raspada), kao i potencijalnih fluktuacija konstante raspada radioizotopa. Očekuje se da je moguća detekcija periodičnih (npr. godišnjih modulacija intenziteta kosmičkog zračenja) i aperiodičnih procesa (npr. Forbuš efekta).

**Zaključak:** Prikazana tehnika može poslužiti kao preduslov za sve eksperimente detekcije procesa sa malom verovatnoćom odigravanja i onemogućiti neadekvatna tumačenja detektovanih signala.

**Ključne reči:** Niskoenergetski fotoni; mioni; gama spektrometrija; koincidentni sistem.

# RADIOACTIVITY OF WASTE FROM CHEMICAL INDUSTRIES IN SERBIA AND ASSESSMENT OF RADIATION IMPACT ON WORKERS

Predrag Kuzmanović, Jovana Knežević

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

**Mentor:** Full Prof. Nataša Todorović

*Department of Physics*

*Faculty of Sciences, University of Novi Sad*

*Department of Medical and Business-Technology Studies*

*Academy of Professional Studies Sabac*

## Abstract

**Introduction:** Chemical industry waste poses a potential radiological hazard to the population and the environment, as well as to the workers exposed to it. This is due to the emission of radiation from natural radioisotopes  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  whose increased activity concentrations are potentially present in some of them. According to the directives of the European Union and the Republic of Serbia, the permitted annual effective dose from radiation exposure for workers is 20 mSv per year.

**Aim:** The aim of this paper is to investigate the levels of radioactivity of some wastes from the Serbian chemical industries, which are present in large quantities. Activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  in phosphogypsum, pyrite ash, EMCO mud, and Pb/Ag mud samples were determined, and a radiation risk assessment for workers was performed.

**Material and Methods:** Samples were analyzed by low-background gamma-ray spectrometry using an HPGe detector to determine the activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$ . Based on the measured values, gamma indices ( $I_{\gamma}$ ), absorbed radiation dose rates (D), and annual effective doses (De) for occupational exposure to these materials were estimated.

**Results:** The values of the gamma index ( $I_{\gamma}$ ), and absorbed gamma dose rates (D) were above the permitted values only in the phosphogypsum samples, while in the other samples they were below the recommended values. The obtained annual effective doses (De) were below the value of 20 mSv y-1 for all samples.

**Conclusion:** Based on the obtained results, it is concluded that there is no particular radiation hazard for workers handling such waste materials, since the values of the parameters for the estimation of radiation effects are below the permitted values for most samples.

**Keywords:** phosphogypsum; pyrite ash; EMCO mud; Pb/Ag mud; gamma indices; annual effective doses

## INTRODUCTION

The production of metals and metallurgical raw materials is a significant area of economic and social development of a country. During the production of metallurgical raw materials and the processing of metals from various technological processes, large quantities of metallurgical slag, sludge, and other waste materials can be generated, which are temporarily or permanently accumulated, usually near the chemical industries in which they are produced [1].

In the world, chemical industries generate large quantities of waste materials that can endanger and contaminate soil, surface, and ground-water, causing enormous environmental damage [2]. These waste materials usually contain traces of different heavy metals, and may also contain increased activity concentrations of some radionuclides. According to the 2010 Waste Management Strategy of the Republic of Serbia, such materials are classified as hazardous waste [3].

Serbia has been known for the production of non-ferrous metals (zinc-lead and tin) and artificial fertilizers since the first half of the 20<sup>th</sup> century. Zinc was produced in Serbia until 2006 (when its production ceased) by hydrometallurgical process of the processed sulfide concentrate (ZnS-sphalerite), mostly from the “Sase” mine from Srebrenica (Bosnia and Herzegovina), “Trepca” from Kosovo and Metohija (Serbia), and from Romania and Nigeria.

The aim of this paper is to investigate the levels of radioactivity of some wastes from the Serbian chemical industries, which are present in large quantities. Activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  in phosphogypsum samples, pyrite ash, EMCO sludge, and Pb/Ag mud were determined. Gamma indices ( $I_{\gamma}$ ), absorbed radiation dose rates ( $D$ ), and annual effective doses ( $D_{\text{e}}$ ) for occupational exposure to these materials were evaluated. The presented paper is the first study of the radioactivity level of pyrite ash, EMCO mud and Pb/Ag mud from the former “Zorka obojena metalurgija” chemical industry in Sabac, Serbia.

## MATERIALS AND METHODS

### Samples description

#### Phosphogypsum

Phosphogypsum is a by-product of the wet-process production of phosphoric acid. The formation of phosphogypsum can be represented by the reaction (1) [4].



Mineral ore fluor apatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ) reacts with sulfuric acid and water, while the main products are phosphoric acid, hydrogen fluoride, and waste phosphogypsum. The amount of phosphogypsum produced is usually 5 times larger than the amount of phosphoric acid, Fig. 1 [4, 5].

According to its chemical composition, phosphogypsum is  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , and very similar to natural gypsum. It differs from natural gypsum, while it can contain more than 50 different impurities. Phosphogypsum may have an increased concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in its composition, which is usually in the range of 200 to 3000  $\text{Bq kg}^{-1}$  [6]. Exposure of industrial workers to phosphogypsum containing high activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  may pose a health hazard as a result of the exposure to gamma radiation and inhalation of  $^{222}\text{Rn}$ .

Large amounts of phosphogypsum, which is disposed mainly without any treatment, are deposited in the world. In Serbia, phosphoric acid is produced in large quantities, with an annual yield of about 810,000 tons of waste phosphogypsum and about 165,000 tons of phosphoric acid [7]. Certain quantities of phosphogypsum waste are sold to cement factories, although there is no official information in what quantities, but estimates are that they are smaller.

#### Pyrite ash

One of the potentially hazardous wastes from the chemical industries in Serbia is pyrite ash. It was deposited without any protection measures in the amount of about 500,000 tons. Pyrite ash is a by-product in the production of sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), produced as a result of the contact process of

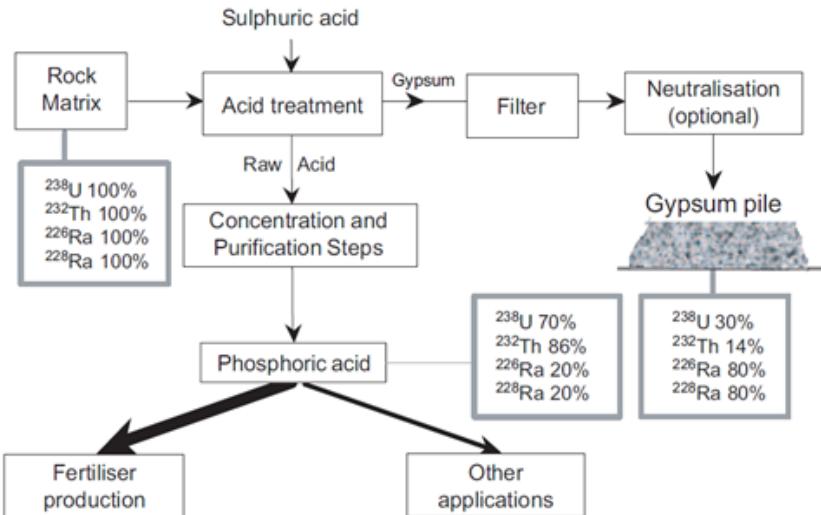
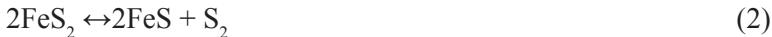


Fig. 1 Block diagram of phosphoric acid production process with radionuclide distribution through processes [5].

granulated pyrite ore ( $\text{FeS}_2$ ) in the process of frying at atmospheric pressure and temperature between 850 and 1000°C [8, 9], reaction group (2–4):



According to its composition, pyrite ash is a mixture of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  iron oxide and is usually red to dark red in color. One of the main producers of sulfuric acid as a strategic product, as well as waste pyrite ashes, in Serbia was “Zorka Sabac”. The produced sulfuric acid was used in fertilizer production and metallurgy. All the produced pyrite ash waste in this industry was deposited in the soil because it was used to level the terrain. However, this deposition could contaminate underground watercourses and degrade the soil. In recent years, larger quantities of pyrite ash from Sabac have been excavated and exported to China, so the amount of half a million tons has been significantly reduced, reducing in this way the potential for an environmental catastrophe.

## EMCO mud

During the processing of concentrated zinc in the “Zorka obojena met-alurgija Sabac“ chemical industry, according to the traditional technology procedure, the EMCO mud was deposited as a waste product, which contained more than 20% of zinc, 30% of iron, and in smaller amounts lead, cadmium, and sulfur [1, 10]. The produced EMCO mud was used for lining the soil and leveling the terrain around the industry “Zorka Sabac“, although in the last years the mud has been excavated and exported to China. Some estimation is that around 34,000 tons of EMCO muds were deposited in Serbia [11], while 20,000 tons were exported.

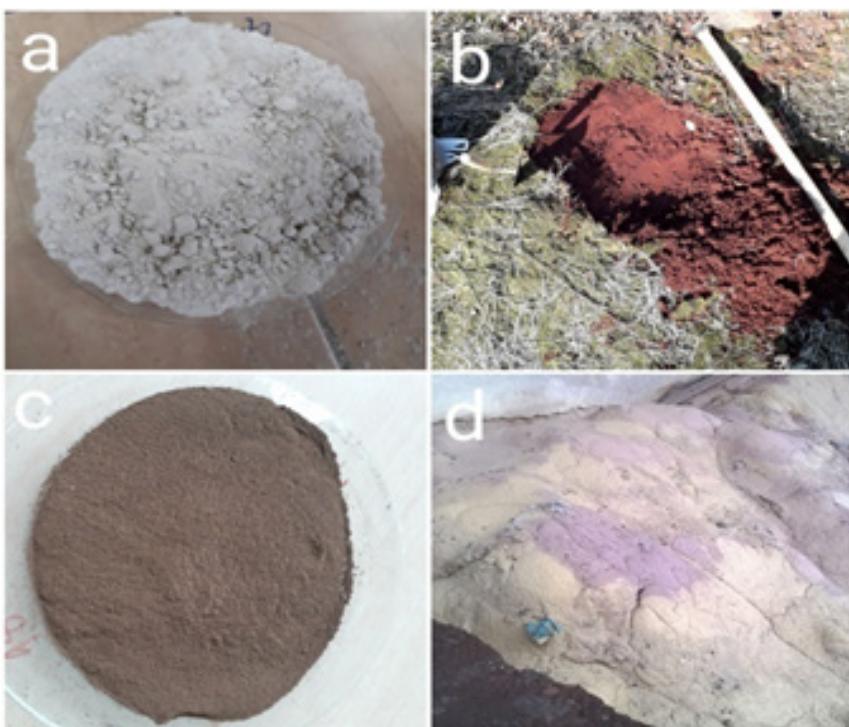


Fig. 2 Appearance of a sample of phosphogypsum (a) and pyrite ash (b), after drying and crude EMCO mud (c) and Pb/Ag mud (d).

## **Pb/Ag mud**

Pb/Ag mud is a mixture of zinc jarosite and lead-silver precipitate, which is produced as a product of the technological process of zinc sulfide concentrate processing by hydrometallurgical process. Pb/Ag mud (precipitate) usually contains traces of zinc, lead, copper, cadmium, cobalt, and other metals [11]. The established values of the elements greater than 1% present in the Pb/Ag precipitate are Fe–27%, Zn–7%, S–9%, Pb–6% and Si–3%, while the presence of other elements is less than 1% (Al–0.91%, Cu and Ca–0.52%, As–0.33%, K–0.26%, and Ag–0.022%) [10]. One of the largest landfills of Pb/Ag sediment in Serbia is within the framework of the former “Zorka obojena metalurgija” in Sabac. It is estimated that this by-product was deposited outdoors in the amount of 300,000 tons without any protection measures [10].

## **Sample preparation**

Samples of phosphogypsum were taken from a landfill of one of the fertilizer chemical industries in Serbia. Samples of pyrite ash and EMCO sludge were taken from sites in Sabac, where they were used to fill the soil, while samples of Pb/Ag mud were taken from a landfill located within the chemical industry “Zorka obojena metalurgija” in Sabac. All samples were dried at 105 °C between 6 and 8 h until constant mass, after which they were homogenized to a fine powder and transferred to cylindrical plastic containers of 6.7 cm in diameter and 6.2 cm in height, after which they were sealed. Teflon tape was used to prevent diffusion of  $^{222}\text{Rn}$ . The samples were measured after a minimum of one month, as a secular radioactive equilibrium was established between  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$ .

## **Radioactivity measurements**

Samples were analyzed by the IAEA TRS 295 method [12]. The measurement time of one sample was about 60,000 s. The typical sample weight was about 300 g. To determine the activity concentration of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$ , a low-level gamma-ray spectrometry method was used by an HPGe detector manufactured by Canberra, with a relative efficiency of 36% and a resolution of 1.9 keV. A lead shield of 12-cm-thick and 3-mm-thick copper was constructed around the detector to prevent the penetration of X-radiation from the K shell of the lead in the energy range of 75–85

keV [13]. Energies of gamma quanta used to estimate the activity concentrations of the given radionuclides are presented in Table 1 [14]. Gamma spectra were collected and analyzed using the Canberra Genie 2000 software. All measurement uncertainties are given at a confidence level of 95%. The measurement uncertainties for the obtained activity concentrations are calculated based on the Eq. (5), taking into account the statistical uncertainty and efficiency uncertainty on the corresponding energy [15]:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{\sum \frac{1}{\sigma_i^2}}} \quad (5)$$

where  $\sigma_A$  is measurement uncertainty for the given measured activity concentration of the corresponding radionuclide,  $\sigma_i$  is measurement uncertainty derived on the individual energies of the gamma peaks of the corresponding radionuclide. Statistical uncertainty of the radioactive decay of the radionuclides is calculated in the Genie 2000 software. [15].

The calibration of the detector was performed in cylindrical geometry using a reference radioactive material homogeneously distributed in silicone resin of the volume  $V = 250 \text{ cm}^3$  (Czech Institute of Metrology, Certificate No. 1035-SE-40001-17). Using the ANGLE software, a correction was made to the effect of self-absorption, which may affect the detection efficiency, and it is due to matrices of different densities [14]. Such accurate calibration is necessary to provide a small measurement uncertainty (<10%) when determining radioisotope activity in the low-energy range (below 100 keV). The integral counting speed in the range between 30 and 3000 keV was 2 counts  $\text{s}^{-1}$ .

Table 1 Isotopes used to determine  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ .

Natural radioisotope	Energy (keV)	Nuclide detected
$^{226}\text{Ra}$	295.2	$^{214}\text{Pb}$
	351.9	$^{214}\text{Pb}$
	609.3	$^{214}\text{Bi}$
$^{232}\text{Th}$	238.6	$^{212}\text{Pb}$
	911.2	$^{228}\text{Ac}$
$^{40}\text{K}$	969.1	$^{228}\text{Ac}$
	1460.8	$^{40}\text{K}$

## Assessment of radiation impact on workers

Gamma indices ( $I_{\gamma}$ ), absorbed dose rates ( $\dot{D}$ ), and annual effective doses ( $D_e$ ) were used to estimate the radiation risk for workers when handling the analyzed waste samples.

The gamma index is used for the radiological characterization of specific materials and can be calculated using the Eq. (6), according to the regulation in the Republic of Serbia [16]:

$$I_{\gamma} = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000} \quad (6)$$

where  $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$ , and  $C_K$  are the activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  in  $\text{Bq kg}^{-1}$ , respectively. The recommended gamma index value for a given material to which a worker is exposed during radiation should be less than 1 [17].

The rate of the absorbed dose in the air ( $\dot{D}$ ) originating from gamma rays of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  from a given material can be calculated using the Eq. (7) [18]:

$$\dot{D} = 0.429C_{Ra} + 0.666C_{Th} + 0.042C_K \quad (7)$$

where  $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$ , and  $C_K$  are the activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  in  $\text{Bq kg}^{-1}$ , respectively, and the absorbed dose rate is expressed in  $\text{nGy h}^{-1}$ . The average value of the absorbed gamma radiation dose for specific materials in the world is  $59 \text{ nGy h}^{-1}$  [19].

Based on the estimated absorbed dose rate given by the Eq. (7), the annual effective dose received by a worker can be calculated using the Eq. (8) [19]:

$$D_e(\text{mSv y}^{-1}) = \dot{D}(\text{nGy h}^{-1}) \times 8760(\text{h}) \times 0.2 \times 0.7 (\text{Sv Gy}^{-1}) \times 10^{-6} \quad (8)$$

where  $D$  is the absorbed dose rate expressed in  $\text{nGy h}^{-1}$ ,  $8,760$  h is the time during one year (365 days),  $0.2$  is the exposure factor (20% of the annual time a worker spends working with a given

material) and  $0.7 \text{ Sv Gy}^{-1}$  is a conversion factor for gamma radiation [17]. According to the laws of the Republic of Serbia, the permissible annual effective dose for occupationally exposed persons in the Republic of Serbia is  $20 \text{ mSv}$  or  $100 \text{ mSv}$  for a period of 5 years [20].

## RESULTS AND DISCUSSION

The measured values of the activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in the 13 investigated samples of by-products from chemical industries in Serbia (3 phosphogypsum samples, 4 pyrite ash samples, 4 EMCO mud samples, and 2 Pb/Ag mud samples) are given in Table 2. The average values of activity concentration of  $^{226}\text{Ra}$  are  $562 \pm 59 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $7 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $16 \pm 2 \text{ Bq kg}^{-1}$ , and  $45 \pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$ , respectively, for phosphogypsum samples, pyrite ash, EMCO mud, and Pb/Ag mud, respectively. The average activity concentration values of  $^{232}\text{Th}$  are  $3.2 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $3.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $5.2 \text{ Bq kg}^{-1}$  and  $5.9 \pm 0.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ , for samples of phosphogypsum, pyrite ash, EMCO mud and Pb/Ag mud, respectively (average  $\pm$  standard deviation). The average activity concentration values of  $^{40}\text{K}$  are  $107 \pm 5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $114 \pm 2 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $113 \pm 4 \text{ Bq kg}^{-1}$  and  $140 \pm 4 \text{ Bq kg}^{-1}$ , respectively, for phosphogypsum samples, pyrite ash, EMCO mud, and Pb/Ag mud, respectively.

Compared to the earlier studies from 2007 of phosphogypsum produced in Serbia by the author Rajković et al. [4], the average values of  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{40}\text{K}$  in this paper have 1.3 and 12.3 times higher values, respectively, while the values measured for  $^{232}\text{Th}$  are almost 3 times lower.

The calculated values of gamma indices, absorbed dose rates and the annual effective dose for all 13 by-product samples are given in Table 2.

The average gamma index value for 3 phosphogypsum samples is 1.95 and exceeds the recommended value of 1 defined in Ref. [17]. Gamma index values for pyrite ash, EMCO mud and Pb/Ag mud samples are below the recommended value [17].

The average value of the absorbed dose rate for 3 phosphogypsum samples is  $251 \text{ nGy h}^{-1}$  and exceeds the world average of  $59 \text{ nGy h}^{-1}$  [17]. The average values of absorbed dose rates for other by-products are below the average of  $59 \text{ nGy h}^{-1}$  [17].

Estimated annual effective dose values are below the  $20 \text{ mSv y}^{-1}$  worker exposure limit [17] for all by-product samples, while the range of average values is from  $12 \mu\text{Sv y}^{-1}$  for pyrite ash samples to  $308 \mu\text{Sv y}^{-1}$  for phosphogypsum samples.

**Table 2** Activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ , gamma indices ( $I_{\gamma}$ ), absorbed doses ( $\textcolor{blue}{D}$ ) and annual effective doses ( $D_e$ ) for the analyzed waste samples. (SD = standard deviation).

Sample name	Activity concentration (Bq kg <sup>-1</sup> )			$I_{\gamma}$	$\textcolor{blue}{D}$	$D_e$ ( $\mu\text{Sv y}^{-1}$ )
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$			
<b>Phosphogypsum</b>						
1	425±4	3.0±0.7	98±6	1.56	200	245
2	592±8	2.8±0.6	105±5	2.02	260	319
3	668±8	3.7±0.9	118±9	2.29	294	361
<b>Pyrite ash</b>						
1	7.1±0.2	2.75±0.19	114±3	0.075	9.7	11.85
2	5.3±0.3	4.5±0.3	122±6	0.081	10.4	12.8
3	9.7±0.3	3.2±0.3	109±5	0.085	10.9	13.4
4	5.1±0.3	3.6±0.2	112±5	0.073	9.3	11.4
<b>EMCO mud</b>						
1	14±1	4.8±0.3	100±5	0.103	13.3	16.2
2	19±1	5.2±0.4	117±6	0.129	16.6	20
3	21±1	6.1±0.3	114±6	0.138	17.8	22
4	12±1	4.7±0.3	119±6	0.102	13.2	16
<b>Pb/Ag mud</b>						
1	41±1	5.5±0.3	134±7	0.208	26.8	33
2	50±2	6.3±0.4	145±9	0.247	31.8	39

## CONCLUSIONS

In this paper, radioactivity level measurements and an assessment of the radiation risk when working with some of the by-products produced in the chemical industries in the Republic of Serbia (phosphogypsum, pyrite ash, EMCO mud, and Pb/Ag mud samples) were performed. The obtained activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  indicate that the highest concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in phosphogypsum samples is up to 130 times higher than in other samples, while  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  are present at approximately the same concentrations in all samples. Based on the obtained values of gamma indices, absorbed dose rates, and annual effective doses, it can be concluded that there is no particular radiation risk of exposure to ionizing radiation for workers when handling these materials.

## Acknowledgments

The authors thank the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia for the financial support in the scientific projects No. 171002, 43002.

## REFERENCES

- [1] Nikolić B, Nikolić V, Kamberović Ž, Marinković D, Popović Z. Prateći ekološko-ekonomski efekti metalurških i rudarskih deponija, *Tehnika-rudarstvo, geologija i metalurgija*, 2012, 63, 57–60.
- [2] Vojinović Miloradov M. B, Turk Sekulić M. M, Radonić J. R, Milić N. B, Grujić Letić N, Mihajlović I. J, Milanović M. Lj. Industrijske emergentne hemikalije u životnom okruženju, *Hem. ind*, 2014, 68(1), 51–62.
- [3] "Sl. glasnik RS", br. 29/2010. (2010): Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019. godine, Republika Srbija.
- [4] Rajković M. B, Lačnjevac Č. M, Tošković D, Stanojević D. Ispitivanje mogućnosti primene fosfogipsa za izradu pregradnog zida – elementa montažnog objekta, *Zaštita Materijala*, 2007, 48(1), 41–47.
- [5] International Atomic Energy Agency. (2003): Technical Reports Series No. 419, Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological

Options For Mitigation, Vienna, Austria.

- [6] USEPA. (1990): Report to Congress on Special Wastes from Mineral Processing: Summary and Findings, Washington.
- [7] RARIS i FTN. (2016): Nacrt Regionalnog plana upravljanja otpadom za grad Zaječar i opštine Boljevac, Bor, Kladovo, Majdanepek, Negotin, i Knjaževac.
- [8] Tugrul N, Moroydor Derun E, Piskin M. Utilization of pyrite ash wastes by pelletization process, *Powder Technol*, 2007, 176, 72–76.
- [9] King M, Moats M, Devenport W.G.I. Sulfuric Acid Manufacture: Analysis, control and optimization, 2013, 2nd Edition. Elsevier, USA, ISBN: 978-0-08-098220-5.
- [10] JUP “Plan”. (2015): Izveštaj o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu plana detaljne regulacije „Zorka-radna zona istok“ u Šapcu, Šabac.
- [11] Stanojević D, Filipović Petrović L, Antonijević Nikolić M. Distribucija kobalta u procesu hidrometalurške proizvodnje cinka, *Zastita Materijala*, 2015, 56 (3), 367–372.
- [12] International Atomic Energy Agency. (1989): Technical Reports Series No. 295, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment, Vienna, Austria.
- [13] Todorovic N, Forkapic S, Bikit I, Mrdja D, Veskovic M, Todorovic S. Monitoring for exposures to TENORM Sources in Vojvodina region, *Radiat. Prot. Dosim*, 2011, 144(1–4), 655–658.
- [14] Moens L, De Donder J, Xi-lei L, De Corte F, De Wispelaere A, Simonitis A, Hoste J. Calculation of the absolute peak efficiency of gamma-ray detectors for different counting geometries, *Nucl. Instr. Methods*, 1981, 187, 451–472.
- [15] Kuzmanović P, Todorović N, Forkapić S, Filipović Petrović L, Knežević J, Nikolov J, Miljević B. Radiological characterization of phosphogypsum produced in Serbia, *Radiat. Phys. Chem*, 2020, 166, 108463.
- [16] Sl.glasnik br. 36/18. (2018): Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet, Republika Srbija.
- [17] UNSCEAR. (2000): Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report of the United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation to the general assembly. United Nations, New York.
- [18] Sharaf J.M, Hamideen M.S. Measurement of natural radioactivity

- in Jordanian building materials and their contribution to the public indoor gamma dose rate, *Appl. Radiat. Isot.*, 2013, 80, 61–66.
- [19] Hamideen M. S, Sharaf J. Natural radioactivity investigations in soil samples obtained from phosphate hills in the Russaifa region, Jordan, *Radiat. Phys. Chem.*, 2012, 81, 1559–1562.
- [20] Sl. Glasnik br. 86/2011 i 50/2018. (2018): Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima, Republika Srbija.

# RADIOAKTIVNOST OTPADA IZ HEMIJSKIH INDUSTRIJA U SRBIJI I PROCENA RADIJACIONOG UTICAJA NA RADNIKE

Predrag Kuzmanović, Jovana Knežević

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

Mentor: prof. dr Nataša Todorović

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku*

*Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za medicinske i poslovno-tehnološke studije*

## Sažetak

**Uvod:** Otpad hemijske industrije predstavlja potencijalnu radiološku opasnost za stanovništvo i životnu sredinu, kao i za radnike koji su njima izloženi. Ovo je posledica emisije zračenja od prirodnih radioizotopa  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$ , čije se povećane koncentracije aktivnosti u njima mogu naći. Prema direktivama Evropske unije i Republike Srbije, dozvoljena godišnja efektivna doza izloženosti zračenju za radnike iznosi 20 mSv godišnje.

**Cilj:** Cilj ovog rada je ispitivanje nivoa radioaktivnosti nekih otpada iz srpskih hemijskih industrija, kojih ima u velikim količinama. Određene su koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  u uzorcima fosfogipsa, piritne izgoretine, EMCO mulja i Pb/Ag taloga i izvršena je procena radijacionog rizika za radnike.

**Materijal i metode:** Uzorci su analizirani metodom nisko-fonske gama spektrometrije korišćenjem HPGe detektora. Određene su koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$ . Na osnovu izmerenih vrednosti, procenjeni su gama indeksi ( $I_\gamma$ ), brzine apsorbovanih doza zračenja (D), kao i godišnje efektivne doze (De) za profesionalnu izloženost pri radu sa ovim materijalima.

**Rezultati:** Procenjene vrednosti gama indeksa ( $I_\gamma$ ), i brzina apsorbovanih doza zračenja (D), iznad su dozvoljenih vrednosti samo kod uzorka fosfogipsa dok su kod ostalih uzoraka ispod preporučenih vrednosti. Dobijene godišnje efektivne doze (De) su ispod 20 mSv kod svih analiziranih uzoraka.

**Zaključak:** Na osnovu dobijenih rezultata se zaključuje da ne postoji naročita radijaciona opasnost za radnike koji rade sa ovim otpadnim materijalima, jer su vrednosti većine parametara za procenu radijacionog uticaja ispod dozvoljenih vrednosti.

**Ključne reči:** Fosfogips; piritna izgorećina; EMCO mulj; Pb/Ag talog; gama indeksi; godišnje efektivne doze

# IZJEDNAČAVANJE KOEFICIJENATA U HEMIJSKIM REAKCIJAMA POMOĆU MATRICA I SISTEMA LINEARNIH JEDNAČINA

Nevena Kukavica

*kukavica.nevena4@gmail.com*

**Mentori:** doc. dr Dragana Ranković, asist. Marija Minić

*Katedra za fiziku i matematiku*

*Farmaceutski fakultet*

*Univerzitet u Beogradu*

## Sažetak

Izjednačavanje koeficijenata u hemijskim reakcijama od suštinske je važnosti u mnogim istraživačkim, sintetskim, analitičkim, instrumentalnim, industrijskim i mnogim drugim metodama u farmaciji. U standardnom pristupu balansiranja hemijskih jednačina, polazi se od izjednačavanja koeficijenata ispred jednog elementa u reaktantima i proizvodima. Na osnovu toga, vrši se balans preostalih koeficijenata u jednačini, do postizanja ravnoteže broja atoma svakog elementa na levoj i desnoj strani jednačine. Kod oksido-redukcionih reakcija, balans se postiže izvođenjem polureakcija iz glavne jednačine. U ovom radu prikazan je jedan alternativan način za određivanje koeficijenata u hemijskim jednačinama, primenom sistema linearnih jednačina koje se rešavaju matričnim metodom i Gausovim algoritmom. Iako standardni način može biti jednostavan u jednačinama sa malim brojem jedinjenja, on se može znatno zakomplikovati u jednačinama u kojima se javlja veći broj jedinjenja. Predloženi pristup može ubrzati i olakšati rad tokom različitih procedura koje zahtevaju precizan odnos molekula u hemijskim jednačinama. Na primerima je pokazano da se ove metode mogu koristiti u različitim tipovima hemijskih jednačina.

**Ključne reči:** Hemijska jednačina; sistem linearnih jednačina; matrični metod; Gausov algoritam

## UVOD

Hemijска једнаčина представља стехиометријски однос међу реактантима између којих се одвija хемијска реакција, који се navode на левој страни једначина и производа који nastaju у датој хемијској реакцији, који се navode на десној страни једначина[1]. Испред сваког молекула, налази се коefицијент који представља количину реактаната који реагују у реакцији, и количину производа који nastaju у реакцији. Количина сваког елемента у једначини мора бити једнака саnjene leve i десне стране, tj. број атома елемента као реактана мора бити jednak броју атома tog елемента као производа реакције [1]. Баланс хемијске једначина постиже се изједнаčавањем коefицијената sa leve i десне стране једначина.

Količinski однос међу молекулама је од значаја i прilikom same припреме u izvođenju реакција. Jedan od примера су kвалитативне реакције, где спадају i талоžне реакције, код којих се u višku reagensa nastali talog može rastvoriti i dovesti до pojave lažno negativne реакције i pravljења greške tipa 2, која подразумева prihvatanje неispravne nulte hipoteze i odbacivanje ispravne alternativне hipoteze [2]. Isto tako, nedovoljno dodavanje reagensa neće istaložiti drugу supstancu, što takođe представља lažno negativnu реакцију i доношење pogrešног zaključка u испитивању [2]. Kod kvantitatивних испитивања лекова, примењују се titracije u којима se однос између titranta i analizirane supstance мора znati unapred, како bi se moglo izvršiti preračunавање количине analizirane supstance nakon zavrшene titracije [3]. Kod oksido-redukcionih реакција, takođe je bitno precizно određivanje коefицијената, како bi se методе које се заснивају на njima izvele pravilно i како bi se дошло до ispravnог zaključка о предмету испитивања [2–3].

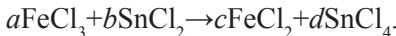
Izједнаčавање коefицијената u хемијским једначинама se vrši tako što se prvo odredi однос коefицијената испред jedног елемента, затим, na osnovу tog односа, одређе се i коefицијенти испред осталих молекула u реакцији. Ovaj метод је uspešan i jednostavan ako se примењује u једначинама sa malim бројем јединjenja. Međutim, ovaj поступак може бити zнатно komplikovaniji ako су u pitanju једначине које се сastoје od većeg броја јединjenja.

U ovom раду биће приказана dva alternativna načina за određivanje коefицијената u хемијским једначинама, применом система linearnih једначин које се решавају matričним методом i Gausovim algoritmom. Приступ балансирању хемијских једначини uobičajeno ne укључује primenu математичких метода, већ se постепеним изједнаčавањем коefицијената

ispred jednog po jednog elementa, dolazi do konačnog izbalansiranog oblika hemijske reakcije.

U sledeća dva primera, biće prikazan način balansiranja hemijskih jednačina pri standardnom pristupu.

Primer 1. Neka je data sledeća hemijska jednačina.



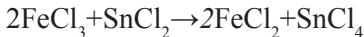
Kako reakcija pripada oksido-redukcionim, izvode se polureakcije na osnovu kojih će se vršiti balans koeficijenata među molekulima.



Sledeći korak podrazumeva množenje prve polureakcije brojem dva, kako bi broj elektrona čiji se transfer vrši bio jednak, odakle sledi:



Broj atoma svakog elementa u polureakcijama uvede se u glavnu hemijsku jednačinu i time se rešava problem balansiranja date hemijske jednačine.



Primer 2. Neka je data sledeća hemijska jednačina.



Kako i ova reakcija pripada oksido-redukcionim po istom principu izvode se polureakcije.



Kako se iz glavne hemijske jednačine izvode tri polureakcije i kako je broj jedinjenja veći u odnosu na reakciju iz prvog primera, balansiranje

hemičke jednačine dosta je komplikovanije. Iz tog razloga, uvođenje matematičkih metoda znatno može olakšati postupak balansiranja, što će biti prikazano na ovom primeru u daljem delu rada.

## MATERIJAL I METODE

U ovom poglavlju dat je opis matrica i njihovih osobina, matričnog metoda i Gausovog algoritma rešavanja sistema linearnih jednačina. Matematičke metode opisane u ovom poglavlju preuzete su iz [4].

### 2.1. Matrice i njihove osobine

Def. Matrica formata  $m \times n$  ( $m, n \in N$ ) je pravougaona šema brojeva

$$a_{ij} \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \quad \text{u oznaci:} \quad A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{vmatrix}_{m \times n}$$

Def. Elementi  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  čine  $i$ -tu vrstu matrice  $A$ , a elementi  $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}$  čine  $j$ -tu kolonu. Element  $a_{ij}$  nalazi se u  $i$ -toj vrsti i  $j$ -toj koloni matrice.

Def. Za matricu A kažemo da je kvadratna reda n ako ima jednak broj vrsta i kolona, odnosno ako je formata  $n \times n$ .

Def.

1) Matrica čiji su svi elementi 0 naziva se nula matrica i označava se O. Nula matrica može biti proizvoljnog formata.

2) Kvadratna matrica reda n za koju je  $a_{11} = a_{22} = \dots = a_{nn} = 1$ , a svi ostali elementi jednaki 0, naziva se jedinična matrica reda n i označava se  $I_n$ .

$I_n$ .

3) Transponovana matrica matrice A tipa  $m \times n$  je matrica  $A^T$  formata  $n \times m$  koja se dobija tako što vrste matice A zamene mesta sa odgovarajućim kolonama.

Def. Matrica A i B su jednake ako su istog formata i ako imaju jednake odgovarajuće elemente.

Def. Proizvod broja  $\beta$  i matrice A je matrica  $\beta A$ .

$$\beta A = \begin{vmatrix} \beta a_1 & \beta a_2 & \cdots & \beta a_{1n} \\ \beta a_2 & \beta a_2 & \cdots & \beta a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \beta a_m & \beta a_{m2} & \cdots & \beta a_m \end{vmatrix}_{m \times n}$$

Proizvod se dobija tako što se svaki element matrice množi datim brojem i važi  $\alpha A = A\alpha$ .

Def. Neka je  $A = \|a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n\|_{1 \times n}$  i  $B = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{vmatrix}_{n \times 1}$ . Proizvod matrice A i

B je matrica  $\mathbf{B} = \|a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n\|_{1 \times 1}$ .

Def. Neka je A matrica formata  $m \times n$ , a B matrica formata  $n \times p$ : u

$$A = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_{1n} \\ a_2 & a_2 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_m & a_{m2} & \dots & a_m \end{vmatrix}_{m \times n} \quad B = \begin{vmatrix} b_1 & b_2 & \dots & b_{1p} \\ b_1 & b_2 & \dots & b_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_n & b_{n2} & \dots & b_p \end{vmatrix}_{n \times p}$$

Proizvod matrica A i B je matrica C formata  $m \times p$ :

$$C = \begin{vmatrix} c_1 & c_2 & \dots & c_{1p} \\ c_2 & c_2 & \dots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_m & c_m & \dots & c_{pn} \end{vmatrix}_{m \times p}$$

sa opštim članom definisianim sa  $c_j = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \dots + a_nb_{nj}$ , za  $i = 1 \dots m, j = 1 \dots p$ .

*Napomena:* U opštem slučaju  $AB \neq BA$ .

### 2.1.1. Determinante

*Def.*

Neka je  $A = \|a_{ij}\|_{1 \times 1}$  matrica reda 1. Determinanta matrice  $A$  je broj

$$\det A = |a_{11}| = a_{11}.$$

Neka je  $A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}_{2 \times 2}$  matrica reda 2. Determinanta matrice  $A$  je

$$\text{broj } \det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}.$$

Neka je  $A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}_{3 \times 3}$  matrica reda 3. Determinanta

matrice  $A$  je broj

$$\begin{aligned} \det A &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = (-1)^{1+1}a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + (-1)^{1+2}a_{12} \begin{vmatrix} a_{12} & a_{13} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + (-1)^{1+3}a_{13} \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix} \\ &= a_{11}a_{22}a_{33} - a_{11}a_{23}a_{32} + a_{12}a_{23}a_{31} - a_{12}a_{21}a_{33} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31}. \end{aligned}$$

## 2.1.2. Inverzna matrica

*Def.* Neka je  $A$  kvadratna matrica reda  $n$ . Ako postoji matrica  $B$  reda  $n$  tako da je

$\mathbf{B}^{-1} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{B}^{-1} = I_n$ , gde je  $I_n$  jedinična matrica reda  $n$ , tada kažemo da je

$B$  inverzna matrica matrice  $A$ .

*Def.* Neka je  $A$  kvadratna matrica reda 3. Neka je  $M_{ij}$  matrica reda 2 koja se dobija iz matrice  $A$  izostavljanjem  $i$ -te vrste i  $j$ -te kolone. Determinanta  $M_{ij}$  je jednaka  $\det M_{ij}$  i naziva se minor elementa  $a_{ij}$ .

Algebarski kofaktor elementa  $a_{ij}$  je:  $A_{ij} = (-1)^{i+j} M_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ).

*Def.* Ako u transponovanoj matrici  $A^T$  svaki element zamenimo njegovim kofaktorom, dobijamo adjugovanu matricu  $\text{adj } A$ .

$$\text{Ako je } A = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ a_1 & a_2 & a_3 \end{vmatrix}, \text{ onda je } \text{adj } A = \begin{vmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ A_1 & A_2 & A_3 \end{vmatrix}.$$

*Stav 1:* Neka je  $A$  matrica reda  $n$  i neka je  $\det A \neq 0$ . Tada je

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \text{adj } A.$$

*Stav 2:* Ako matrica  $A$  ima inverznu matricu  $A^{-1}$ , tada je  $\det A \neq 0$ .

## 2.2. Matrični metod

Jedan od metoda za rešavanje sistema linearnih jednačina je matrični metod. Sistem se zapiše u matričnom obliku, odnosno iz sistema se formiraju tri matrice. Prvu čine koeficijenti koji stoje uz nepoznate, drugu čine nepoznate i treća se sastoji od preostalih koeficijenata. Rešavanjem dobijene matrične jednačine, dobija se matrica iz koje se direktno mogu pročitati vrednosti nepoznatih.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = b_2$$

$$\dots$$
$$a_{n1} x_1 + a_{n2} x_2 + \dots + a_n x_n = b_n$$

Iz sistema se formiraju matrice  $A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}_{n \times n}$ ,  $X = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{vmatrix}_{n \times 1}$

i  $B = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{vmatrix}_{n \times 1}$ .

Sistem se može zapisati u matričnom obliku  $\mathbf{X} = B$ .

*Napomena:* Matrični metod može se primeniti ako je broj promenljivih i broj jednačina jednak i ako je  $\det A \neq 0$ .

Ako postoji inverzna matrica  $A^{-1}$ , tada se rešenje dobija postupkom matrične jednačine:

$$\mathbf{X} = B / A^{-1} \text{ sleva,}$$

$$A^{-1}(\mathbf{X}) = A^{-1}B,$$

$$X = A^{-1}B.$$

Elementi matrice X predstavljaju rešenje jednačine.

### 2.3. Gausov algoritam rešavanja sistema linearnih jednačina

Sistem linearnih jednačina može se rešiti i Gausovim algoritmom. Ovaj metod se može primenjivati i u slučajevima kada broj jednačina nije jednak broju promenljivih ili kada je  $\det A = 0$ . Metod se sastoji iz postepene

eliminacije nepoznatih (množenje jednačine brojem različitim od nule i dodavanje drugoj jednačini) i svodenje na sistem iz kog se neposredno može pročitati rešenje.

U slučaju rješavanja sistema jednačina Gausovom metodom, moguća su tri slučaja:

- a. sistem ima jedinstveno rešenje;
- b. sistem ima beskonačno mnogo rešenja;
- c. sistem nema rešenje.

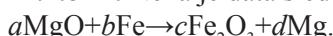
## REZULTATI

U ovom delu rada biće prikazana primena navedenih matematičkih metoda na izjednačavanje koeficijenata u hemijskim jednačinama. Hemijske reakcije korišćene u primerima preuzete su iz [2] i [3].

### 3.1. Primena matričnog metoda

Kroz nekoliko sledećih primera, biće prikazana primena matričnog metoda za rešavanje sistema linearnih jednačina na izjednačavanje koeficijenata u hemijskim reakcijama.

**Primer 1.** Neka je data sledeća hemijska jednačina:



U prvom reaktantu se nalazi 1 atom magnezijuma, u drugom reaktantu 0, u prvom proizvodu 0 i u drugom proizvodu 1. Po istom principu, određuju se brojevi atoma u svakom reaktantu i proizvodu jednačine za ostale elemente koji se nalaze u jednačini. Važe sledeće jednakosti:

$$\cancel{\text{M}} : 1a + 0b = 0c + 1d,$$

$$\cancel{\text{O}} : 1a + 0b = 3c + 0d,$$

$$\cancel{\text{F}} : 0a + 1b = 2c + 0d.$$

Dobijeni sistem je ekvivalentan sledećem:

$$1a + 0b - 0c = 1d$$

$$1a + 0b - 3c = 0d$$

$$0a + 1b - 2c = 0d.$$

Svaka od jednačina sistema podeli se nepoznatom d:

$$1 \frac{a}{d} + 0 \frac{b}{d} - 0 \frac{c}{d} = 1$$

$$1 \frac{a}{d} + 0 \frac{b}{d} - 3 \frac{c}{d} = 0$$

$$0 \frac{a}{d} + 1 \frac{b}{d} - 2 \frac{c}{d} = 0.$$

Iz datih jednakosti, izvode se matrice  $A$ ,  $B$  i  $X$ , tako da matricu  $A$  čine koeficijenti uz nepoznate, a matricu  $B$  koeficijenti sa desne strane jednačina, i matricu  $X$  nepoznate:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}, \quad X = \begin{vmatrix} a/d \\ b/d \\ c/d \end{vmatrix}.$$

Izračunava se determinanta matrice  $A$ :

$$\det A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} = 3 \neq 0 . \text{ Kako je } \det A \neq 0 , \text{ postoji } A^{-1} . \text{ Za}$$

određivanje inverzne matrice prvo se mora odrediti transponovana matrica i adjugovana matrica:

$$A^T = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -3 & -2 \end{vmatrix} ,$$

$$adjA = \begin{vmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & 3 \\ 1 & -1 & 0 \end{vmatrix} ,$$

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} adj A = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & 3 \\ 1 & -1 & 0 \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2/3 & -2/3 & 1 \\ 1/3 & -1/3 & 0 \end{vmatrix}.$$

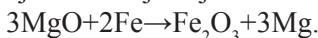
Nakon određivanja inverzne matrice, izračunava se matrica X množenjem matrice  $A^{-1}$  matricom B, što će dalje poslužiti za određivanje vrednosti promenljivih  $a, b, c$  i d:

$$X = \begin{vmatrix} a/d \\ b/d \\ c/d \end{vmatrix} = A^{-1}B = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2/3 & -2/3 & 1 \\ 1/3 & -1/3 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ 2/3 \\ 1/3 \end{vmatrix}.$$

Iz dobijene matrice mogu se formirati sledeće jednakosti  $\frac{a}{d}=1, \frac{b}{d}=\frac{2}{3}, \frac{c}{d}=\frac{1}{3}$  iz čega se dalje mogu odrediti vrednosti nepoznatih. Ovaj sistem nije jedinstveno određen. Uzmimo npr. c=1 i d=3. Naime, dobijene vrednosti mogu se pomnožiti bilo kojim brojem tako da se odnos između koeficijenata ne promeni, već se samo povećava količina supstanci koje reaguju i nastaju u reakciji.

$$\text{Dalje: } \frac{a}{d}=1 \Rightarrow a=d=3, \frac{b}{d}=\frac{2}{3} \Rightarrow b=\frac{2}{3}d=2.$$

Dobijene vrednosti se uvrste u hemijsku jednačinu, što predstavlja poslednji korak u izjednačavanju koeficijenata u datom primeru, tako dobijamo hemijsku jednačinu.



**Primer 2.** Neka je data sledeća hemijska jednačina:  
 $a\text{FeCl}_2 + b\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow c\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 + d\text{NaCl}$ .

Kao i u prethodnom primeru, za svaki element iz jednačine određuje se jednakost koja predstavlja broj atoma elemenata u hemijskoj jednačini:

$$E : 1a + 0b = 3c + 0d,$$

$$C : 2a + 0b = 0c + 1d,$$

$$A : 0a + 3b = 0c + 1d,$$

$$D_4 : 0a + 1b = 2c + 0d.$$

Fosfor i kiseonik nisu predstavljeni kao pojedinačni atomi iz razloga što se grupa  $\text{PO}_4$  nalazi sa obe strane hemijske jednačine sa istim odnosom atoma, tako da se cela grupa može posmatrati kao jedan element.

Sledeći korak podrazumeva sređivanje sistema jednačina tako da sa desne strane ostane jedna nepoznata, a sa leve sve ostale nepoznate, a zatim se sa nepoznatom sa desne strane podeli svaka jednačina:

$$1a + 0b - 3c = 0d$$

$$2a + 0b - 0c = 1d$$

$$0a + 3b - 0c = 1d$$

$$0a + 1b - 2c = 0d$$

$$1\frac{a}{d} + 0\frac{b}{d} - 3\frac{c}{d} = 0$$

$$2\frac{a}{d} + 0\frac{b}{d} - 0\frac{c}{d} = 1$$

$$0\frac{a}{d} + 3\frac{b}{d} - 0\frac{c}{d} = 1$$

$$0\frac{a}{d} + 1\frac{b}{d} - 2\frac{c}{d} = 0.$$

Iz dobijenih jednačina formiraju se matrice  $A$ ,  $B$  i  $X$ :

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -3 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -2 & 1 \end{vmatrix}, B = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{vmatrix}, X = \begin{vmatrix} a/d \\ b/d \\ c/d \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Kako se sistem sastoji od četiri jednačine sa tri nepoznate, matrici  $A$  dodata je jedna kolona u kojoj su svi elementi jednaki 1. Dodavanjem te kolone, dobija se kvadratna matrica, što je neophodno da bi se odredila determinanta matrice  $A$ , ali istovremeno ta promena ne utiče na rezultat.

Determinanta matrice  $A$  jednaka je  $\det A = -6$ , te postoji inverzna matrica matrice  $A$ . U sledećem koraku određuje se inverzna matrica:

$$A^T = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 1 \\ -3 & 0 & 0 & -2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad adjA = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -3 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -2 & 1 \end{vmatrix},$$

$$A^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1/2 & -3/2 \\ 2/3 & -1/3 & 2/3 & -1 \\ -2/3 & 1/3 & -1/6 & 1/2 \\ -2 & 1 & -1 & 3 \end{vmatrix}.$$

Matrica  $X$  dobija se kao proizvod matrice  $A^{-1}$  i matrice  $B$ :

$$X = \begin{vmatrix} a/d \\ b/d \\ c/d \\ 0 \end{vmatrix} = A^{-1}B = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1/2 & -3/2 \\ 2/3 & -1/3 & 2/3 & -1 \\ -2/3 & 1/3 & -1/6 & 1/2 \\ -2 & 1 & -1 & 3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1/2 \\ 1/3 \\ 1/6 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Iz prethodnog,

$$\begin{vmatrix} a/d \\ b/d \\ c/d \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1/2 \\ 1/3 \\ 1/6 \\ 0 \end{vmatrix} \Rightarrow \frac{a}{d} = \frac{1}{2}, \frac{b}{d} = \frac{1}{3}, \frac{c}{d} = \frac{1}{6} \Rightarrow a=3, b=2,$$

$$c=1, d=6.$$

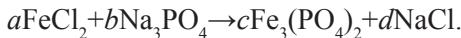
Kao i u prethodnom primeru, rešenje nije jedinstveno.

Dobijeni koeficijenti uvrste se u početnu hemijsku jednačinu.  
 $3\text{FeCl}_2 + 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{NaCl}$ .

### 3.2. Primena Gausovog algoritma

Kroz sledeće primere, biće prikazana primena Gausovog algoritma rešavanja sistema linearnih jednačina u izjednačavanju koeficijenata u hemijskim reakcijama.

**Primer 3.** Neka je data sledeća hemijska jednačina:



Ako su koeficijenti ispred reaktanata  $a$  i  $b$ , a ispred proizvoda  $c$  i  $d$ , onda važe sledeće jednakosti koje predstavljaju broj atoma svakog elementa u reaktantima i proizvodima:

$$E : 1a + 0b = 3c + 0d,$$

$$C : 2a + 0b = 0c + 1d,$$

$$N : 0a + 3b = 0c + 1d,$$

$$P : 0a + 1b = 2c + 0d.$$

Nakon toga, može se formirati sistem linearnih jednačina, koji ćemo rešiti Gausovim algoritmom:

$$\begin{array}{rcl} R_1: & a & -3c = 0 \\ R_2: & 2a & -d = 0 \quad -2R_1 + R_2 \\ R_3: & 3b & -d = 0 \\ \hline R_4: & b-2c & = 0 \\ & a & -3c = 0 \\ & & 6c -d = 0 \\ & 3b & -d = 0 \quad R_2 - R_3 \\ \hline & b-2c & = 0 \\ a & -3c & = 0 \\ & & 6c -d = 0 \\ & -3b+6c & = 0 \\ \hline & b-2c & = 0 \quad R_3 - 3R_4 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} a & -3c & =0 \\ & 6c-d & =0 \\ 3b-6c & =0 \\ \hline & 0=0 & \end{array}$$

Jednu nepoznatu izjednačićemo sa parametrom  $\alpha$ ,  $\alpha \in R$ , pa ćemo

pomoću nje predstaviti sve ostale nepoznate,  $a = \alpha$ . Odatle:

$$b = \frac{2\alpha}{3},$$

$$c = \frac{b}{2} = \frac{2\alpha}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{2\alpha}{6},$$

$$d = 3b = 2\alpha,$$

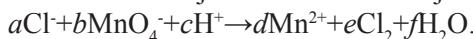
$$(a, b, c, d) = \left( \alpha, \frac{2\alpha}{3}, \frac{2\alpha}{6}, 2\alpha \right), \alpha \in R.$$

Kako se za vrednost parametra može uzeti bilo koji broj, sledi da sistem ima beskonačno mnogo rešenja. Za vrednost parametra  $\alpha$  uzima se broj

3, kako bi rešenje sistema bili celi brojevi i dobija se:  
 $(a, b, c, d) = (3, 2, 1, 6)$ .

Dobijene vrednosti nepoznatih uvrste se u polaznu hemijsku jednačinu.  
 $3\text{FeCl}_2 + 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{NaCl}$

**Primer 4.** Neka je data sledeća hemijska jednačina:



Za svaki element koji se nalazi u datoj hemijskoj jednačini formira se jednakost:

$$C : 1a + 0b + 0c = 0d + 2e + 0f,$$

$$M : 0a + 1b + 0c = 1d + 0e + 0f,$$

$$O : 0a + 4b + 0c = 0d + 0e + 1f,$$

$$H : 0a + 0b + 1c = 0d + 0e + 2f.$$

U sledećem koraku formira se i rešava sistem linearnih jednačina:

$$\begin{array}{l}
 R_1: a - 2e = 0 \\
 R_2: b - d = 0 \quad -4R_2 + R_3 \\
 R_3: 4b - f = 0 \\
 \hline
 R_4: c - 2f = 0 \\
 \hline
 a - 2e = 0 \\
 b - d = 0 \\
 4d - f = 0 \quad -2R_3 + R_4 \\
 \hline
 c - 2f = 0 \\
 \hline
 a - 2e = 0 \\
 b - d = 0 \\
 4d - f = 0 \\
 \hline
 c - 8d = 0
 \end{array}$$

Nakon sređivanja sistema, dobija se sistem sastavljen od 4 jednačine i 6 nepoznatih. Kako je broj jednačina manji od broja nepoznatih, uvođe se dva parametra  $\alpha$  i  $\beta$ ,  $\alpha, \beta \in R$ , preko kojih se izraze dve nepoznate, a

zatim se i ostale nepoznate takođe izraže preko datih parametara.

$$e = \alpha, d = \beta \Rightarrow a = 2\alpha, b = \beta, f = 4\beta, c = 8\beta$$

$$(a, b, c, d, e, f) = (2\alpha, \beta, 8\beta, \beta, \alpha, 4\beta), \alpha, \beta \in R$$

Vrednosti parametara  $\alpha$  i  $\beta$  se u slučaju oksido-redukcionih reakcija

određuju se na osnovu polureakcija izvedenih iz glavne reakcije za koju se određuju koeficijenti:



Za vrednost parametra  $\alpha$  uzima se vrednost broja elektrona koji jedan atom mangana preuzima od atoma hlora. Parametru  $\alpha$  se dodeljuje ova

vrednost zato što je dati parametar izjednačen sa koeficijentom  $e$  koji stoji uz atom hlora u jednačini. Dok se za vrednost parametra  $\beta$  uzima vrednost

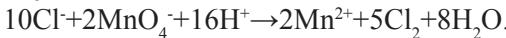
broja elektrona koji jedan atom hlora predaje atomima mangana. Parametru  $\beta$  dodeljena je data vrednost zato što je izjednačen sa koeficijentom  $d$

koji stoji uz molekul mangana u reakciji. Dakle,  $\alpha = 5$ ,  $\beta = 2$ ,  $a = 10$ ,  $c = 16$

i f=8. Parametri su ovde izjednačeni sa najmanjim mogućim vrednostima, a mogu uzimati i veće vrednosti ako se pomnože istim brojem, što neće poremetiti balans jednačine.

$$(a, b, c, d, e, f) = (0, 2, 6, 2, 5, 8)$$

Nakon što se vrednosti parametara uvrste u početnu hemijsku jednačinu, dolazi se do rešenja zadatka, tj. izjednačenja koeficijenata u hemijskoj reakciji.



**Primer 5.** Neka je data sledeća hemijska jednačina:



Na osnovu hemijske jednačine, izvedu se sledeće jednakosti:

$$A : 2a + 0b + 0c = 1d + 0e + 0f + 0g,$$

$$S : 3a + 0b + 0c = 0d + 1e + 0f + 0g,$$

$$N : 0a + 1b + 0c = 0d + 0e + 1f + 0g,$$

$$O : 0a + 3b + 0c = 4d + 4e + 2f + 1g,$$

$$H : 0a + 0b + 1c = 0d + 0e + 0f + 2g.$$

Od dobijenih jednakosti, formira se sistem linearnih jednačina:

$$R_1 : 2a - d = 0$$

$$R_2 : 3a - e = 0$$

$$R_3 : b - f = 0$$

$$R_4 : 3b - 4d - 4e - 2f - g = 0 \quad -4R_1 - 4R_2 - 2R_3 + R_4$$

$$\underline{R_5 : \frac{c}{2a} - \frac{-2g}{-d} = 0}$$

$$2a - d = 0$$

$$3a - e = 0$$

$$b - f = 0$$

$$-20a + b - g = 0$$

$$\underline{\underline{R_4 + R_5 : \frac{c}{2a} - \frac{-2g}{-d} = 0 \quad -2R_4 + R_5}}$$

$$2a - d = 0$$

$$3a - e = 0$$

$$b - f = 0$$

$$-20a + b - g = 0$$

$$\underline{\underline{40a - 2b + c = 0}}$$

Kako se sistem sastoji od 7 nepoznatih i 5 jednačina, uvode se 2 parametra  $\alpha$  i  $\beta$ ,  $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$ . Nepoznata  $a$  se izjednači se parametrom  $\alpha$ , a nepoznata  $b$  sa parametrom  $\beta$ . Na osnovu jednakosti iz sistema, sve ostale promenljive izraze se preko ova dva parametra:  
 $a = \alpha, \beta = b \Rightarrow d = 2\alpha, e = 3\alpha, f = \beta, g = \beta - \alpha, c = 2\beta - \alpha$   
 $(a, b, c, d, e, f, g) = (\alpha, \beta, 2\beta - \alpha, 2\alpha, 3\alpha, \beta, \beta - \alpha) \quad \alpha, \beta \in \mathbb{R}$

U ovom primeru, za razliku od prethodna dva, neke od nepoznatih ( $g$  i  $c$ ) zavise od više parametara. Tada Gausov algoritam značajno olakšava postupak, jer bi klasičnim pristupom izjednačavanju koeficijenata postupak bio komplikovaniji i sporiji.

Vrednosti parametara se određuju pomoću sledećih polureakcija koje su izvedene iz glavne redukcione jednačine.



Određivanje vrednosti parametara vrši se po istom principu kao u prethodnom primeru, tj. parametar  $\alpha$  se nalazi uz elemente As i S i

izjednačava se sa vrednošću broja elektrona koji je predat atomu N. Dok se parametar  $\beta$  izjednačava sa brojem elektrona koje su atomi As i S predali atomu N iz čega sledi:  $\alpha=1$  i  $\beta=28$ . Vrednosti parametara uvrste se u

jednakosti kojima su određene ostale nepoznate:  $d=2, e=3, f=28, g=8, c=16$ .

$$(a, b, c, d, e, f, g) = (1, 8, 6, 2, 3, 28, 8)$$

Dobijene vrednosti se uvrste u polaznu hemijsku jednačinu i dolazi se do rešenja zadatka.



## DISKUSIJA

Precizno određen balans hemijskih reakcija veoma je značajan u industrijskoj farmaciji, u raznim istraživanjima koja uključuju lekove, u

različitim metodama u kojima je neophodno izračunati potrebnu masu ili zapreminu reaktanata i proizvoda reakcije, a preduslov za to bila bi unapred određena količina molekula koji učestvuju u reakciji. Takođe, u različitim analitičkim metodama poput titracije, taloženja ili oksido-redukcionih reakcija, važno je da odnos između molekula bude ispravan. Pogrešno izmerene količine supstanci mogu dovesti do toga da se reakcija ne odvije ili da se odmeri veća količina nekog reaktanta, što dovodi do pojave viška jednog reaktanta, a to takođe može da dovede do pogrešnog zaključka.

U primerima, detaljno je prikazana primena matričnog metoda i Gausovog algoritma za rešavanje sistema linearnih jednačina na rešavanje problema izjednačavanja koeficijenata u hemijskim reakcijama. Opisane metode mogu se primenjivati na različite tipove hemijskih reakcija. Pod tim se podrazumevaju reakcije sa različitim brojem molekula koji reaguju ili nastaju, zatim oksido-redukcione reakcije, gde se vrši transfer elektrona. Pored toga se može razlikovati i tip sistema koji se formira iz hemijske jednačine. Pojedine hemijske jednačine mogu se balansirati primenom oba opisana matematička metoda, ukoliko su ispunjeni svi neophodni uslovi koje metoda zahteva. Napomenimo da dobijene vrednosti koeficijenata nisu jedinstvene, već predstavljaju odnos količina molekula u jednačini. Dobijeni koeficijenti mogu se pomnožiti bilo kojim brojem tako da se očuva odnos među molekulima uz promenu njihove količine.

U primerima u kojima je za rešavanje problema korišćen matrični metod, prikazano je pronaalaženje inverznih matrica kvadratnih matrica reda 3 i reda 4. Za ubrzavanje procesa ili za matrice većih dimenzija, mogu se koristiti kalkulatori koji su u širokoj upotrebi i imaju ugrađene funkcije matričnog računa.

S obzirom na to da hemijsku reakciju zapisujemo u obliku sistema linearnih jednačina, problem izjednačavanja koeficijenata se može rešiti i drugim metodama za rešavanje sistema linearnih jednačina.

## ZAKLJUČAK

Primenom matričnog metoda i Gausovog algoritma pojednostavljenje je i ubrzano balansiranje hemijskih jednačina. Ovi postupci su od jos većeg značaja u složenijim reakcijama koje su sastavljene od većeg broja molekula.

Olkšano balansiranje hemijskih jednačina znatno može olakšati i ubrzati rad tokom različitih procedura koje zahtevaju precizan odnos molekula u hemijskim jednačinama.

## LITERATURA

- [1] Čakar M, Popović G, Tanasković S, Dražić B, Jovanović T. (2015): Opšta i neorganska hemija: praktična nastava. Farmaceutski fakultet. Beograd.
- [2] Jelikić-Stankov M, Kapetanović V, Karljiković-Rajić K, Aleksić M, Ražić S, Uskoković-Marković S, i dr. (2013): Semimikro kvalitativna hemijska analiza. Deveto izdanje. Farmaceutski fakultet. Beograd.
- [3] Jelikić-Stankov M, Kapetanović V, Karljiković-Rajić K, Aleksić M, Ražić S, Uskoković-Marković S, i dr. (2015): Kvantitativna hemijska analiza. Treće izdanje. Farmaceutski fakultet. Beograd.
- [4] Kečkić J, Nikčević S. Matematika – jednogodišnji kurs za studente biologije, poljoprivrede, farmacije, fizičke hemije, hemije, šumarstva (2005): Naša knjiga. Beograd.
- [5] Ranković D, Milenković D. (2017): MATEMATIKA Zbirka zadataka za Farmaceutski fakultet. Skripta. Beograd.
- [6] Hari Krishna Y, Venkata Ramana Reddy G, Praveen J. Balancing chemical equations by using matrix algebra. World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences, 2017, 6, 994–999.
- [7] Cephas Iko-ojo G, Gerald Ikechukwu O. Balancing of Chemical Equations using Matrix Algebra. Journal of Natural Sciences Research, 2015, 5(5), 29–36.

# BALANCING OF CHEMICAL EQUATIONS USING MATRIX ALGEBRA AND SYSTEM OF LINEAR EQUATIONS

Nevena Kukavica

*kukavica.nevena4@gmail.com*

**Mentors:** Assist. Prof. Dragana Ranković, TA Marija Minić

*Department of Physics and Mathematics*

*Faculty of Pharmacy*

*University of Belgrade*

## Abstract

Balancing of chemical equations is of essential importance in many analytic, instrumental, industrial and many other methods in pharmacy. A general approach to this problem is to balance coefficients in front of one element in reactants and products. Afterward, the remaining elements are balanced based on the previous element, so that both sides of the equation have the same number of each atom. To achieve balance in oxide-reduction chemical equations, one uses half-reactions obtained from the main equation. This process can be straightforward in the case of chemical reactions that contain a small number of chemical compounds, but it can be significantly more difficult when the chemical reaction contains a greater number of reactants and products. In this paper, we present alternative techniques of balancing coefficients in chemical equations using systems of linear equations solved by the matrix method and the Gaussian elimination method. These techniques can accelerate and facilitate work during a variety of procedures that require a precise ratio of molecules in chemical equations. We used different examples to show the application of the mentioned methods in various types of chemical equations.

**Keywords:** chemical equation; the system of linear equations; matrix method; Gaussian elimination method

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

5(082)

НАУЧНО-стручна конференција Студенти у сусрет науци (12 ; 2019 ; Бања Лука)

Prirodne nauke. Istraživanja u prirodnim naukama : zbornik radova / 12. Naučno-stručna konferencija Studenti u susret nauci - StES 2019, Banja Luka 2019. = Natural Sciences. Research in Natural Sciences : proceedings / 12th scientific conference Students encountering science - StES 2019 ; [urednik Lena Lukić]. - Banja Luka : Univerzitet u Banjoj Luci : Studentski parlament Univerziteta u Banjoj Luci, 2019 (Banja Luka : Mikro print). - 105 стр. : илустр. ; 21 cm. - (Prirodne nauke, ISSN 2637-1987)

Радови на срп. и енгл. језику. - Лат. и ћир. - Тираж 35. -  
Библиографија уз сваки рад. - Abstracts.

ISBN 978-99976-49-00-3

COBISS.RS-ID 8490264