

# **„ RUDARSTVO 2023“**

14. simpozijum sa međunarodnim učešćem

## **Održivi razvoj u energetici i rudarstvu**

*11. Savetovanje sa međunarodnim učešćem*

## **ZBORNİK RADOVA**

*PROCEEDINGS*

**Zlatibor**

**30. maj - 2. jun 2023**

# ZBORNİK RADOVA/ *PROCEEDINGS*

## **Organizatori:**

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina  
Privredna komora Srbije

## **Izdavač / *Publisher***

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina

## **Urednik / *Editor***

Miroslav Ignjatović

## **Štampa / *Printed by***

Akadska izdanja, Beograd

## **Tiraž / *Copies***

180

Beograd, 30. maj 2023

## **14. Simpozijum „Rударstvo 2023“ Održivi razvoj u rudarstvu i energetici**

**СИМПОЗИЈУМ са међународним учешћем "Рударство" (14 ; 2023 ; Златибор)**

**Održivi razvoj u rudarstvu i energetici** : Zbornik radova / 14. simpozijum sa međunarodnim učešćem "Rударstvo 2023" = Sustainable development in mining and energy : proceedings = 14th Symposium with International Participation "Mining 2023", Zlatibor 30. maj - 2. jun 2023. ; [organizatori Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina [i] Privredna komora Srbije] ; [urednik, editor Miroslav Ignjatović. - Beograd : Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 2023 (Beograd : Akademska izdanja). - 401 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 180. - Bibliografija uz većinu radova. - Abstracts.

**ISBN:978-86-80420-27-1**

COBISS.SR-ID:116330505

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд 622(082)  
502/504(082)

### **NAUČNI ODBOR**

dr Dragan Radulović, ITNMS, Beograd; dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; Beograd; dr Vladimir Šiljkut, JP EPS; Prof.dr Mirko Gojić, Metalurški fakultet, Sisak; prof.dr Grozdanka Bogdanović, Tehnički fakultet; dr Maja Grbić, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla"; dr Branislav Marković, ITNMS, Beograd; prof. dr Jovica Sokolović, Tehnički fakultet, Bor; prof. dr Predrag Jovančić, RGF, Beograd; dr Slavica Mihajlović, ITNMS, Beograd; dr Dragana Randelović, ITNMS, Beograd; dr Vladimir Jovanović, ITNMS, Beograd; Prof. Snežana Ignjatović, RGF, Beograd; dr Nevad Ikanović, JP Elektroprivreda BiH, prof.dr Omer Musić, RGG fakultet, Tuzla; dr Zajim Hrvat, JP Elektroprivreda BiH; Prof.dr Marina Dojčinović, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd; dr Edin Lapandić, JP Elektroprivreda BiH, dr Rada Krgović, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; dr Aleksandra Patarić, ITNMS, Beograd; dr Vladan Kašić, ITNMS, Beograd; dr Branko Petrović, JPEPS, Ogranak RB; Kolubara; mr Jadranka Todorović, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; mr Šefik Sarajlić, RMU Đurđevik; dr Dimšo Milošević, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; dr Milisav Tomić, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; mr Žarko Nestorović, JPEPS, Ogranak HE Đerdap

### **PROGRAMSKI ODBOR**

dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; Ljubinko Savić, Privredna komora Srbije; Gordana Tomašević, JP EPS; dr Nikola Vuković, ITNMS; Vladimir Vukojević, NIS Gaspromneft; Nataša Malenčić, NIS Gaspromnjeft; Andrea Radonjić, Rio Tinto; Jovica Radisavljević, ZiJin Bor Copper doo Bor; Bojan Rakić, JP EPS, Ogranak HE Đerdap, Miliša Jovanović, EMS ad; Prof. dr Milanka Negovanović, RGF, Beograd; Slobodan Mitić, JP PEU, Resavica; Ivan Filipov, rudnik Kovin; Drago Vasović, rudnik Veliki Majdan; Momčilo Dugalić, Jelen Do; Mr Šahbaz Lapandić, rudnik mrkog uglja Banovići

## SADRŽAJ / CONTENTS:

### Plenarna predavanja / Plenary Presentations

#### RETKE ELEMENTI I NJIHOV STRATEŠKI ZNAČAJ

Jovan Kovačević, Dragoman Rabrenović, Predrag Mijatović, Jelena Kokot, Slobodanka Sudar, Nebojša Gavrilović 5

#### STRATEŠKI PLAN ODRŽIVOG RAZVOJA EKSPLOATACIJE LEŽIŠTA UGLJA RMU „SOKO” SOKOBANJA

Sobodan Kokerić, Zoran Aksentijević, Mirko Ivković 16

#### POVRŠINSKI MODIFIKOVANI ZEOLITI - EFIKASNI ADSORBENTI EMERGENTNIH ZAGAĐIVAČA

Danijela Smiljanić, Aleksandra Daković, Marija Marković, Milena Obradović i Milica Ožegović 29

#### ČELIČNI OTPAD - SEKUNDARNA SIROVINA ZA PROIZVODNJU ČELIKA

Mirko Gojić, Stjepan Kožuh, Ivana Ivanić 37

#### PRIMENA AEROMAGNETSKIH I GRAVIMETRIJSKIH PODATAKA PRI IZRAD GEOFIZIČKOG-GEOLOŠKOG MODELA DELA TIMOČKOG MAGMATSKOG KOMPLEKSA

Snežana Ignjatović 55

#### ANALIZA KRITERIJUMA VERIFIKACIJE METODA ZA ISPITIVANJE ZATEZANJEM ČELIČNIH ŽICA, UŽADI U RUDARSTVU

Slavica Miletić, Biserka Trumić, Suzana Stanković 78

#### PRIMENA SKENIRAJUĆE ELEKTRONSKE MIKROSKOPIJE U ISTRAŽIVANJU LEŽIŠTA I PRIPREMI MINERALNIH SIROVINA

Nikola S. Vuković 66

#### MOGUĆNOST EKSPLOATACIJE METANA IZ LEŽIŠTA RMU „SOKO“ – SOKOBANJA

Duško Đukanović, Nemanja Đokić, Zoran Aksentijević, Daniel Radivojević, Branislav Stakić 75

#### ANALIZA KRITERIJUMA VERIFIKACIJE METODA ZA ISPITIVANJE ZATEZANJEM ČELIČNIH ŽICA, UŽADI U RUDARSTVU

Slavica Miletić, Biserka Trumić, Suzana Stanković 88

#### GEOLOGIJA LEŽIŠTA ZEOLITSKIH TUFOVA SRBIJE

Vladan Kašić, Vladimir Simić, Jovica Stojanović, Ana Radosavljević-Mihajlović, Slavica Mihajlović, Nataša Djordjević 95

#### TEHNOLOŠKA ISPITIVANJA PET ALKALNO AKTIVIRANIH UZORAKA BENTONITSKE RUDE „BIJELO POLJE“ – BAR I NJIHOVA PRIMENA U RAZLIČITIM INDUSTRIJSKIM GRANAMA

Dragan S. Radulović, Vladimir D. Jovanović, Dejan Todorović, Branislav Ivošević, Darko M. Božović, Sonja Milićević, Slavica Mihajlović 110

#### SMANJENJE RIZIKA OD OŠTEĆENJA KAPITALNE RUDARSKE OPREME IMPLEMENTACIJOM RADARSKOG PRAĆENJA STABILNOSTI KOSINA NA KOPOVIMA ELEKTROPRIVREDE SRBIJE

Dragan Milošević, Ivan Janković, Đorđe Radulović 119

## Saopštenja / Contributions

### **HORIZONTALNA I VERTIKALNA DISTRIBUCIJA TEŠKIH METALA (Cu, Pb, Zn) U LIGNITU KOSTOLAČKO - KOVINSKOG UGLJONOSNOG BASENA**

Bogoljub Vučković 124

### **КОЛИКО ДАНАС, ЈУЧЕ СМО МОРАЛИ МИСЛИТИ НА СУТРА**

Зорица Гојак 134

### **UTVRĐIVANJE PARAMETRA ODLOŽENE OTKRIVKE I JALOVINE METODOM POVRATNE ANALIZE NA OVRŠINSKOM KOPU GACKO-CENTRALNO POLJE**

Aleksandar Ateljević, Nenad Lasica, Dušan Nikčević, Nikola Stanić,  
Aleksandar Doderović 137

### **POTENCIJALNOST LEŽIŠTA MRKOG UGLJA “SOKO” – SOKOBANJA**

Miljana Milković, Đorđe Fići, Daniel Radivojević, Zoran Aksentijević,  
Slobodan Kokerić 151

### **ODREĐIVANJE ISKORISTIVE VREDNOSTI PRIRODNOG KAPITALA LEŽIŠTA UGLJA “POLJANA”**

Zorica Ivković, Dejan Dramlić, Dražana Tošić, Boban Branković, Jelena Trivan 163

### **ПРИМЈЕНА МОДЕЛА УПРАВЉАЊА ДИКОНТИНУАЛНИМ СИСТЕМИМА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ У УСЛОВИМА ПК „БОГУТОВО СЕЛО“**

Димшо Милошевић, Владимир Малбашић 172

### **ORDŽIVOST PODZEMNE EKSPLOATACIJE UGLJA U REPUBLICI SRBIJI**

Marko Babović, Ivan Janković, Branislav Babić 193

### **POZITIVNI I NEGATIVNI UTICAJ HIDROELEKTRANA NA ŽIVOTNU SREDINU**

Ivana Mitrović 203

### **EKSTERNI TROŠKOVI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE TOKOM I NAKON PROCESA PROIZVODNJE**

Boban Turanović 215

### **GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA MINERALIZACIJA BORA I PRATEĆIH ELEMENATA U VALJEVSKO-MIONIČKOM BASENU RADI DOKAZIVANJA LEŽIŠTA RUDE BORA, SA TEŽIŠTEM NA PROCESU IZVEDENIH TEHNOLOŠKO-METALURŠKIH ISPITIVANJA**

Branislav Potić, Ana Arifović 220

### **MOGUĆNOST SMANJENJA EMISIJE CO<sub>2</sub> U TERMoeLEKTRANAMA "EPS-a" U FUNKCIJI ODRŽIVOG RAZVOJA I CIRKULARNE EKONOMIJE**

Momčilo MOMČILOVIĆ 233

### **STABILNOST ODLAGALIŠTA JALOVINE NA POVRŠINSKOM KOPU BELI KAMEN NA FRUŠKOJ GORI**

Radmilo Rajković, Daniel Kržanović, Miomir Mikić, Milenko Jovanović, Stefan Trujić 248

### **ГЛАУКОНИТСКИ КВАРЦНИ АРЕНИТИ И ЊИХОВА ПРИМЕНА У ОРГАНСКОЈ ПРОИЗВОДЊИ**

Драгоман Рабреновић, Јован Ковачевић, Маја Познановић Спахих, Цветко Живоковић,  
Јелена Кокот 257

## **SPECIFIČNOSTI HIBRIDNIH GEOMREŽA**

Milenko Jovanović, Daniel Krzanović, Radmilo Rajković, Miomir Mikić, Emina Pozega	269
<b>BIOLOŠKA REKULTIVACIJA FLOTACIJSKOG JALoviŠTA STUBIČKI POTOK U LEPOSAVIĆU</b>	
Miomir Mikić, Sandra Milutinović, Stefan Trujić, Radmilo Rajković, Milenko Jovanović	278
<b>SISTEM ODBRANE OD VODA POVRŠINSKOG KOPA VELIKI KRIVELJ</b>	
Daniel Krzanović, Milenko Jovanović, Radmilo Rajković, Miomir Mikić, Ivana Jovanović	283
<b>IZRADA DRENAŽNIH KANALA U PODINI PK „DRMNO“, ZAPUNA IBERLAUFOM I POKRIVANJE GEOTEKSTILOM</b>	
Jovan Zdravković, Tomislav Nestorović, Mladen Vojnić Nadežda Stevanović –Petrović	289
<b>POSTUPCI PRIPREME KVARCNOG PESKA I NJIHOV UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU</b>	
Slavica Mihajlović, Nataša Đorđević, Vladan Kašić, Dragan Radulović, Vladimir Jovanović	293
<b>DEMONTAŽA I MONTAŽA RADNOG KOLA TURBINE NA HE ĐERDAP 1</b>	
Aleksandar Čelebić	299
<b>ODRŽIVI RAZVOJ U ELEKTROENERGETICI</b>	
Žarko Nestorović, Petar Nikolić, Dragan Marinović, Bojan Rakić	310
<b>MONTAŽA STATORA GLAVNOG GENERATORA NA HE „ĐERDAP 1”</b>	
Dragan Belonić	316
<b>REVITALIZACIJA AGREGATA A2 NA HE „ĐERDAP 1”</b>	
Radovan Miković	326
<b>ZNAČAJ PROBNO-EKSPLOATACIONE ETAŽE PRI ISTRAŽIVANJU LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA U CRNOJ GORI</b>	
Darko Božović, Dragan S. Radulović, Branko Vilotijević	337
<b>ANALIZA UTICAJA RUDARSKIH RADOVA NA PROMENE NAČINA KORIŠĆENJA ZEMLJIŠTA U ZONI RUDARSKOG BASENA „KOLUBARA“ DALJINSKOM DETEKCIJOM</b>	
Milisav Tomić	344
<b>FLEKSIBILNOST U RADU POSTROJENJA ZA DORADU NA RUDNIKU KOVIN</b>	
Ivan Filipov	355
<b>ZEOLITSKI TUFOVI LEŽIŠTA SLANCI U BEOGRADSKOM DUNAVSKOM KLJUČU</b>	
Vladan Kašić, Jovica Stojanović, Ana Radosavljević-Mihajlović, Slavica Mihajlović, Nataša Djordjević	366
<b>METODOLOGIJA IZDAVANJA ULJA I MAZIVA U POMOĆNOJ MEHANIZACIJI NA PK „DRMNO“</b>	
Filip Todorović	374
<b>UTICAJ SEPARATNOG PROVJETRANJA NA POJAVU ENDOGENIH POŽARA U RUDNIKU „PODZEMNA EKSPLOATACIJA UGLJA“ RMU „BANOVIĆI“</b>	
Dž. Dostović; Šefik Sarajlić	382

Udruženje za energetiku i rudarstvo  
Broj: 09.05 - 1/22  
Beograd, 03. 05. 2023.

INSTITUT ZA TEHNOLOGIJU NUKLEARNIH I DRUGIH MINERALNIH SIROVINA  
Dr Vladan Kašić

Predmet: Rad po pozivu

Poštovani,

Privredna komora Srbije zajedno sa privrednim subjektima i naučnim institucijama organizuje simpozijum "RUDARSTVO 2023" koji će se održati od 30. maja do 2. juna 2023. godine na Zlatiboru.

Sa zadovoljstvom Vas obavestavamo da je Naučni odbor simpozijuma "Rudarstvo 2023", prihvatio Vaš rad kao plenarni:

- **GEOLOGIJA LEŽIŠTA ZEOLITSKIH TUFOVA SRBIJE**  
Vladan Kašić

Vaš rad će biti štampan u Zborniku, a pozivamo Vas da ga, usmeno izložite prema priloženom Programu, u okviru Plenarnog izlaganja. Predviđeno je da izlaganje traje 20 minuta.

S poštovanjem



Sekretar

*Ljubinko Savić*  
Ljubinko Savić

# GEOLOGIJA LEŽIŠTA ZEOLITSKIH TUFOVA SRBIJE

Vladan Kašić<sup>1</sup>, Vladimir Simić<sup>2</sup>, Jovica Stojanović<sup>1</sup>, Ana Radosavljević-Mihajlović<sup>1</sup>, Slavica Mihajlović<sup>1</sup>, Nataša Djordjević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franš d' Eperea 86, Beograd, Srbija

<sup>2</sup>Rudarsko-geološki fakultet, Djušina 7, Beograd

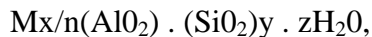
## APSTRAKT

*Zeoliti čine grupu prirodnih i sintetičkih neorganskih jedinjenja, koja poseduje specifične fizičko-hemijske osobine pogodne za industrijsku primenu. Zeolit, "kamen koji ključa" (grčki zeo = ključa; lithos = stena) je naziv za određenu vrstu prirodnih alumosilikatnih minerala, koji je potekao od švedskog mineraloga Kronšteta davne 1756. godine. Prema genezi, raznovrsnosti hemijskog sastava, strukturnim karakteristikama i primeni, zeoliti čine specifičnu grupu alumosilikatnih minerala u okviru grupe tektosilikata. Prirodni zeoliti se javljaju kao vodeni alumosilikati alkalnih i zemno-alkalnih metala. Prirodna zeolitska sirovina predstavlja za sebe rudnu stenu, koja sadrži zeolite, najčešće hojlanditske, šabazitske ili analcimske serije, do 80-95% sa mineralnim primesama vezanim za genezu datog ležišta. Stene koje sadrže zeolit, posle usitnjavanja i sejanja na frakcije određene krupnoće, u većini slučajeva bez obogaćivanja i druge bilo kakve prerade, koriste se kao gotov produkt u raznim granama industrije i poljoprivrede. U okviru ovog rada data je detaljna geološka karakterizacija prirodnih zeolita najznačajnijih srpskih ležišta. Veliki broj pojava i ležišta prirodnih zeolita piroklastičnog porekla (zeolitskih tufova) široko rasprostranjenih u miocenskim sedimentima Srbije kao što su: Zlatokop (Vranjski basen), Igroš, Jablanica 1 (Kruševački basen), Beočin (Fruška Gora), Toponica (Kosovska Kamenica) i Slanci (Dunavski ključ kod Beograda) predstavljaju ekonomski veoma važnu mineralnu sirovinu. Osnovni korisni mineral je HEU-tipa i uglavnom se radi o klinoptilolit-hojlanditskoj mineralnoj seriji.*

*Ključne reči: Zeolitski tuf, Srbija, klinoptilolit-hojlandit*

## Uvod

Prirodni zeoliti se javljaju kao vodeni alumosilikati alkalnih i zemno-alkalnih metala sa uopštenom empirijskom formulom:



gde su M-katjon (katjoni) sa valentnošću n, Z - broj molekula vode, odnos y:x - u zavisnosti od strukture, dobijaju različita značenja i obično se nalaze u vrednostima od 1 do 5.

Prirodna zeolitska sirovina predstavlja za sebe rudnu stenu, koja sadrži zeolite, najčešće hojlanditske, šabazitske ili analcimske serije, do 80-95%, sa mineralnim primesama vezanim za genezu datog ležišta. Stene koje sadrže zeolit, posle usitnjavanja i sejanja na frakcije određene krupnoće, u većini slučajeva bez obogaćivanja i druge bilo kakve prerade, koriste se kao gotov produkt u raznim granama industrije i poljoprivrede. Manje partije visoko kvalitetne mineralne sirovine, mogu da imaju složeniju šemu pripreme sirovina za iskorišćavanje, za neke apsorpcione tehnologije jonskih izmena uključujući razne metode modifikacije, koje poboljšavaju upotrebne osobine zeolitske sirovine. Mogućnost njihove praktične primene povezana je sa otkrićem (50-



60-ih godina XX veka) nalazišta prirodnih zeolita, obrazovanih na račun preobražaja vulkanskog tufa. Danas je poznato više od 50 mineralnih oblika i podvrsta prirodnih zeolita. Od njih samo nekoliko ispunjava uslove za iskorišćavanje i primenu u praktične svrhe i to na taj način što u prirodi obrazuju krupne, skoro monomineralne koncentracije sa neophodnim korisnim karakteristikama (osobinama) (imaju visoku termičku i kiselinsku stabilnost, visoki kapacitet katjonske izmene >130meq/100g, odsustvo teških metala i dr.)

Klinoptilolit-hojlanditska serija minerala (HEU-tip zeolitske mreže) zbog svojih fizičko-hemijskih osobina predstavlja ekonomski jednu od najznačajnijih grupa prirodnih zeolita (Mumpton, 1988). Pored njih veliki praktičan značaj imaju i zeolitski tufovi koji sadrže minerale šabazit ili analcim. Brojna su polja primene ovih minerala u ekosistemima: u oblasti poljoprivrede i veterinarstvu, odstranjivanja organskog sumpora vezanog za ulja, prtečišćavanja voda, prečišćavanja vazduha od gasova SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i azotnih oksida, odstranjivanja cezijuma i stroncijuma iz zemljišta zagađenog nuklearnim otpadom.

Zeolitski tufovi sedimentnih ležišta Srbije predstavljaju ekonomski veoma važnu mineralnu sirovinu. Osnovni korisni mineral je HEU-tipa i uglavnom se radi o klinoptilolit-hojlanditskoj mineralnoj seriji. Pored njih, tufovi u svom sastavu redovno sadrže i druge minerale, koji bitno utiču na sadržaj zeolita. U novije vreme, njihova intezivna industrijska primena stvara značajnu tražnju za ovim stenama, pa su njihova ispitivanja od velikog praktičnog značaja. U okviru ovog rada data je detaljna geološka karakterizacija prirodnih zeolita najznačajnijih srpskih ležišta. Zadovoljavajuće kristalohemijske i mineraloške osobine zeolitskih tufova Srbije daju mogućnost njihove primene u različitim procesima adsorpcije, jonske izmene ili katalitičkim reakcijama.

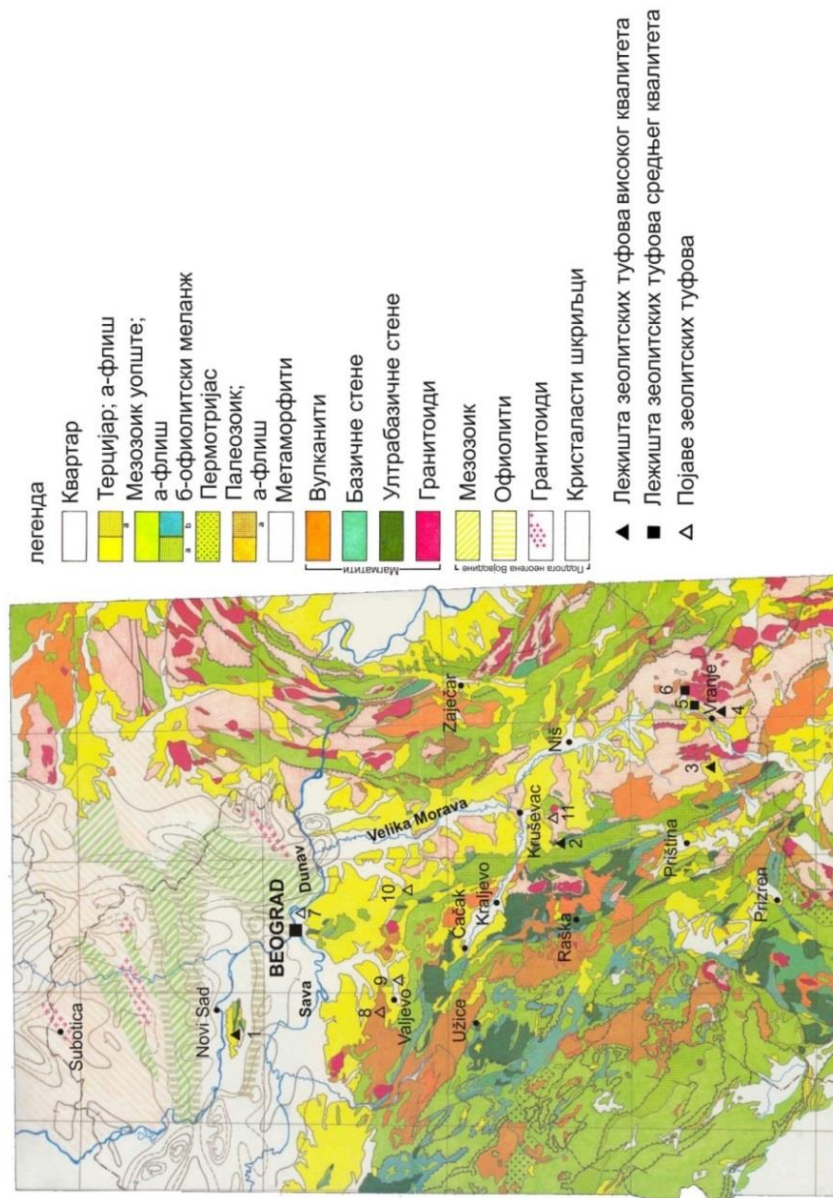
## **1. Geologija ležišta zeolitskih tufova Srbije**

Zeolitski minerali često predstavljaju osnovu "pepelastih" tufova, čineći u njima i do 90% ukupne stenske mase. Tokom geološkog razvoja zemljine kore više puta su obnavljani povoljni geološki uslovi za stvaranje većih koncentracija zeolitskih minerala i nastanak ležišta minerala zeolita. Na prostoru Srbije to se događalo tokom gornje krede, paleogena i neogena, a u vezi su sa efuzivnim aktivnostima dacitskih, dacito-andezitskih i andezitskih magmi. Ekonomski najznačajnije naslage su stvarane tokom neogena intenzivnom mladoalpskom tektono-magmatskom višefaznom aktivnošću. Veliki broj pojava i ležišta prirodnih zeolita piroklastičnog porekla široko rasprostranjenih u miocenskim sedimentima Srbije kao što su: Zlatokop (Vranjski basen), Igroš, Jablanica 1 (Kruševački basen), Beočin (Fruška Gora), Toponica (Kosovska Kamenica) i Slanci (Dunavski ključ kod Beograda) prostorno i genetski vezana su za vulkanske i vulkanoklastične stene marinskih sredina senonske i neogenske starosti i jezerske sedimente neogene starosti (slika 1) Sami zeolitski tufovi u najvećem delu sastavljeni su od zeolitskih minerala klinoptilolit-hojlanditske serije HEU-tipa, koji su prisutni u obliku malih igličastih do pločastih kristala dimenzija od 0,1 do 100 μm (u asocijaciji sa drugim silikatnim i alumosilikatnim fazama približno sličnih specifičnih gustina). U zavisnosti od vrste i sadržaja izmenljivog katjona, kao i termičke stabilnosti ispitivanog zeolitskog tufa razlikujemo Ca-klinoptilolite i Ca-hojlandite. Kapaciteti katjonske izmene naših zeolitskih tufova imaju vrednosti od 122 do 166 meq/100 g.

## **Geologija ležišta zeolitskog tufa Zlatokop**

Zeolitizirani dacitski tuf Zlatokopa interstratifikovan je u jezerskoj seriji pločastih i listastih laporaca miocenske starosti. Tuf je odvojen od podinskih i krovinskih laporaca slojem 5-20 cm silifikovanog tufa sa mestimičnim izdvajanjem crnih rožnaca, genetski vezanih za vulkansko staklo.

Debljina rudnog tela (zeolitisanog dacitskog tufa) određena na bazi istražnog bušenja varira od 0,4 do 3,5 m, dok debljina u jamskim hodnicima iznosi 1,9 do 2,1 m. Bušotine duž južne granice rudnog tela imaju debljinu manju od 2 m, jer presecaju erozijom delimično ili skoro potpuno istanjen rudni sloj. Zeolitski sloj blago tone u pravcu SSZ pod uglom od 5-10°. Sadašnje dimenzije rudnog tela u pravcu S-J iznose 850 m, odnosno 1.300 m u pravcu I-Z. Zeolit pripada Ca-klinoptilolitu dok samo ležište zeolitisanog tufa "Zlatokop" pripada vulkanogeno-sedimentnom tipu kasno-dijagenetskom podtipu ležišta.



**Slika 1. Pregledna geološka karta Srbije sa ležištima i pojavama zeolitskih tufova (prema, Dimitrijević, 1992; dopunjeno):** ▲ 1. Beočin, 2. Igroš, 3. Toponica, 4. Mečkovac, 11. Jablanica-1; ■ 5. Mečkovac, 6. Katalenac&Duge Njive, △ 7. Slanci, 8. Kotešica, 9. Tabanović, 10. Lužnica.

### Geologija ležišta zeolitskog tufa Igroš

Ležište zeolitskih tufova Igroš zahvata krajnji južni obod miocenskog Kruševačkog basena. Na području ležišta izdvojena su dva rudna polja (Mojčić, 1998; Mojčić, 2010): Šović-Dorđevići i Igroš-Vidojevići

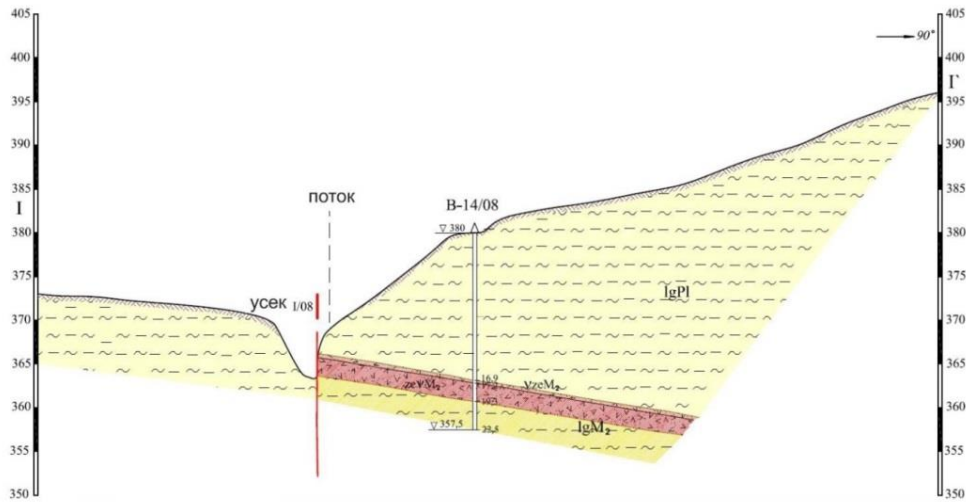
Rudno polje Šovići-Đorđevići nalazi se severozapadno od potoka Dolovi na potezu Šovići-Đorđevići. Ležište zeolitskog tufa se prostire na površini od 7ha. Bušenjem je utvrđen sloj korisne komponente prosečne debljine 1,67 m, sa generalnim pružanjem ZSZ-III i srednjim statističkim padom ka SI pod uglom od oko 16°. Zeolitizirani tufovi su interstratifikovani u miocensko-pliocenskoj seriji laporovitih glina, koje čine podinu i peščara koji čine povlatu. Zeolitski tuf predstavlja najfiniji vulkanski pepeo, koji je proizvod vulkanske erupcije sa Jastreba, a taložen je kao jedna facija u sedimentnoj duboko vodnoj sredini.









Rudno polje Igroš-Vidojevići Zeolitisan sloj tufa pruža se od severozapada prema jugoistoku i može se pratiti sa prekidima na dužini od 1,1 km. Geološkim istraživanjima (Mojić, 2010) na rudnom polju "Igroš-Vidojevići" utvrđena su dva rudna tela: "rudno telo 1" i "rudno telo 2". Kartiranjem terena kao i eksploatacionim radovima na "rudnom telu 1" utvrđeno je da se sloj zeolitisanog tufa pruža pravcem sever-jug i može se pratiti oko 170 m po pružanju i po padu u proseku oko 50 m (slike 2 i 3). Sloj zeolitisanog tufa interstratifikovan je u miocensko-pliocenskoj seriji laporovitih zelenih glina koje čine podinu i smeđih glina i zelenih peščara, koji čine povlatu. Sloj zeolitisanog tufa je svetlo sive do bele boje prosečne debljine 1,64 m, sa generalnim pružanjem sever-jug i srednjim statističkim padom prema severu pod uglom od oko 40°. Prosečna vrednost kapaciteta katjonske izmene na "rudnom telu 1" iznosi 166,9 meq/100 g. Kartiranjem terena na "rudnom telu 2" utvrđeno je da se sloj zeolitisanog tufa pruža pravcem severozapad-jugoistok i može se pratiti na dužini od oko 300 m i po padu oko 100 m.



**Slika 2. Snimak zeolitisanog sloja u ležištu zeolitskog tufa Igroš-Vidojevići (Kašić)**

попечни геолошки профил I-I'  
1:500



-  Хумус
-  Повлатни седименти (лапоровите зелене, смеђе до црвенкасте глине)
-  Зелени туф са глином
-  Светло сиви zeолитисани туф
-  Подински седименти (лапоровите смеђе и лапоровите глине)
-  Расед покривен или несигурно лоциран
- Усек I/08  Истражни усек
-  Истражне бушотине

**Слика 3. Попечни геолошки профил I-I' кроз лежиште zeолитског туга Iгрођ код Бруса (према Мојић, 2010)**

## **Geologija ležišta zeolitskog tufa Općište kod Beočina**

Marinski srednji miocen na Fruškoj Gori ima znatno rasprostiranje i u njemu se izdvaja nekoliko litofacijalnih tipova (Simić, 1999). Među njima se, naročito na severnim padinama Fruške Gore, javljaju tufovi, tufiti i tufozni sedimenti (Stangačilović, 1969).

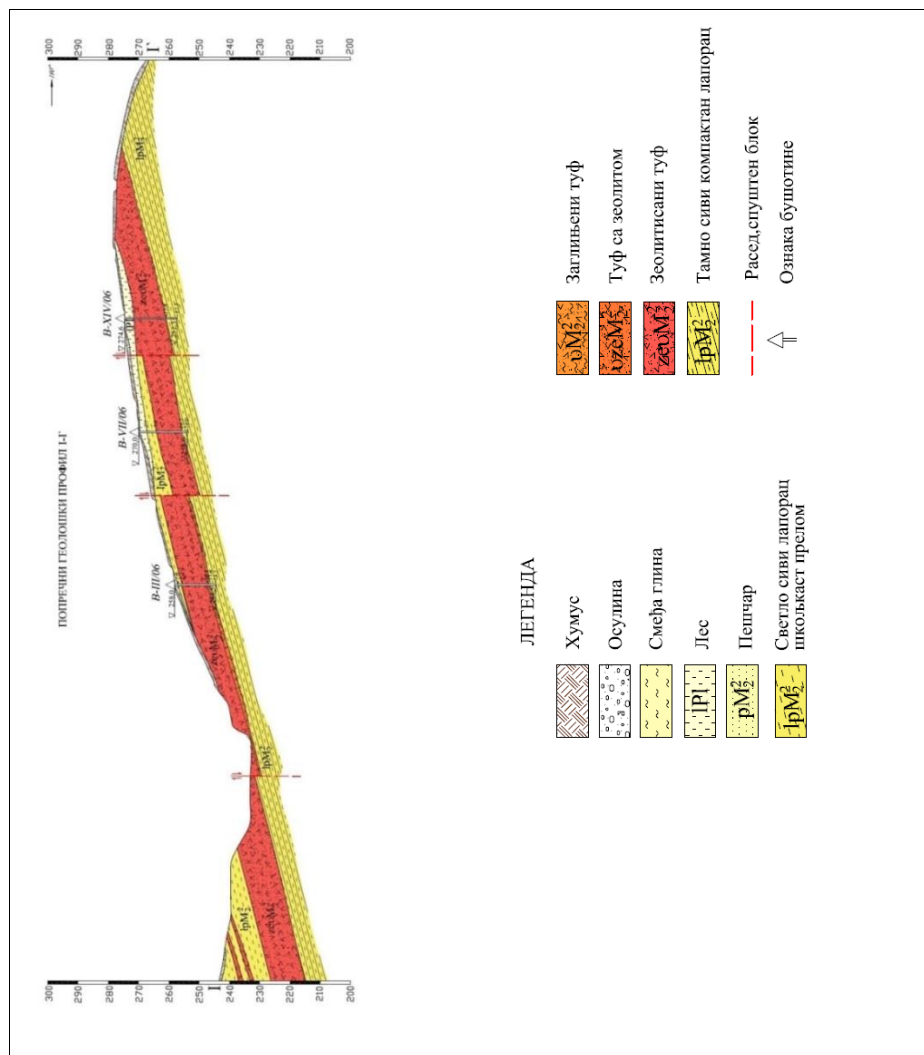
Na severnim padinama Fruške Gore zeolitski tufovi su zastupljeni u okviru jedne zone koja na zapadu počinje kod manastira Beočin, pa se preko Starog Rakovca i Ledinaca prostire do Bukovca na istok. Ovi tufovi (dacitskog sastava) javljaju se kao interstratifikovane partije u srednje miocenskoj seriji. Ova serija predstavljena je konglomeratima, peščarima, tufopeščarima, laporcima, glinama i krečnjacima. U ovoj zoni najveći ekonomski značaj ima ležište Općište na lokalitetu manastir Beočin. Ležište zeolitskih tufova Općište nalazi se u blizini manastira Beočin, na severnim padinama Fruške Gore, odnosno 4 km zapadno od Beočina. Geološku građu ležišta tufa Beočin čine: podinski laporci, tuf i povlatni materijal od lesa, osulinskog i humusnog materijala. Genetski je vezan za vulkanski pepeo nastao neogeno-miocenskim vulkanizmom ovog područja. Debljina zeolitskog tufa kreće se od nekoliko do 25 m (slika 4).

Izvršenim ispitivanjima (Radojević i Dedić, 1995; Mojić i Kovačević, 2007) za ležište Općište utvrđeno je dominantno prisustvo zeolita, kao i prisustvo vulkanskog stakla. Tuf je bele do sivobele boje, zastupljen u dva varijeteta: sitnozrni (50 $\mu$ m) u gornjem delu i srednjezrna u nižem delu sloja. Prema mikroskopskim ispitivanjima sitnozrni tuf je amorfan, dok su srednjezrni i krupnozrni tuf kristalični.

## **Geologija nalazišta zeolitskog tufa Slanci**

Tvorevine jezerskog miocena nalaze se istočno od Beograda u Dunavskom ključu, u ataru Velikog Sela i Slanaca. Jezerski peliti predstavljaju tipične jezerske formacije. Sastoje se od dobro uslojenih laporovitih glina i laporaca, laminiranih bituminoznih glinaca, uz česte pojave dacitskih tufova i tufita. Debljina naslaga varira između 50 i 70 m. Debljina proslojaka tufa ne prelazi 2 m, dok je debljina tufita nešto veća. Na lokalnostima Tapino brdo i Zapis, prostoru gde su obavljena istraživanja zeolitskih tufova, zastupljeni su sedimenti miocena i kvartara. Po starosti i u genetskom pogledu među njima su prisutni (Đoković i dr., 2002) jezerski sedimenti tzv. „slanačke serije“ i morski sedimenti badenskog kata.

Rukovođenje istražnim radovima na pomenutim lokalnostima vršili su stručnjaci Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Kašić i dr., 2004) i sva laboratorijska ispitivanja vršena su takođe u laboratorijama ITNMS Beograd. Istraživanje zeolitskih tufova vršeno je na površini od oko 1,6 km<sup>2</sup> (visovi Tapino brdo i Zapis sa neposrednom okolinom – kod sela Slanci) gde su delimično upoznate osnovne geološke i morfološke karakteristike i kvalitet korisne mineralne sirovine. Urađena su 2 istražna raskopa i 5 istražnih bušotina, čime su delimično proverene litoške i stratigrafske pretpostavke koje definišu način i oblik pojavljivanja korisne mineralne sirovine.



**Slika 4. Karakteristični geološki profil ležišta zeolitskog tufa Opčište kod Beočina (prema Mojić i Kovačević, 2007)**





**Slika 5. Karakteristični geološki profil ležišta zeolitskog tufa Slanci (prema Kašić i dr., 2004).**

U geološkoj građi, osnovni litološki članovi ispitanog dela terena su: tvorevine lesa, laporovitog (dolomitičnog) glinca, zeolitskog tufa, tufita u povlati i karbonatno-glinovitog materijala u podini rudonosnog zeolitskog sloja. Zeolitski tuf je predstavljen sivobelim do žućkasto bojenim agregatom, sa prisutnim limonitskim skramama koje zapunjavaju prsline i pukotine. U uzorcima zeolitskog tufa konstatovano je prisustvo minerala zeolita iz grupe hojlandit/klinoptilolit kao



najdominantniji, zatim plagioklasi, dok su kvarc i vulkansko staklo manje zastupljeni. Prisustvo minerala glina, feldspata i karbonata je zanemarljivo malo. Na osnovu utvrđenog mineralnog sastava i svih ostalih ispitivanja (fizičko-hemijska, tehnološka), može se reći da se radi o zeolitskom tufu veoma visokog kvaliteta (Stojanović i dr., 2003). Obzirom da se radi o sloju korisne mineralne sirovine promenljive debljine (1-3 metra), sa padom od oko 20° (slika 5) koji je konstatovan na relativno malom prostoru gde su izvedena istražna bušenja, procenjene geološke rezerve iznose oko 10.000 tona.

### **Geologija ležišta zeolitskog tufa Toponica**

Ležište zeolitskog Toponica nalazi u krajnjem istočnom delu Kosmeta, u blizini Kosovske Kamenice i pripada tektonskoj jedinici Srpsko-makedonske mase. U geološkoj građi šireg područja ležišta zeolitskog tufa učestvuju sledeće stene (Dedić, 1990): kristalasti škriljci i magmatiti, granati, pegmatiti i apliti, tercijarni sedimenti, andeziti, daciti i njihovi tufovi, pliocenske naslage i kvartarne tvorevine.

Ležište je okontureno na površini od 15 ha. U okviru sa dva rudna tela – A i B sračunate su rezerve od 410.506 tona (Dedić, 1990). U geološkoj građi ležišta zeolitskog tufa učestvuju podinski miocenski glinoviti pešćar, horizont belog zeolitskog tufa i povlatni miocenski glinci, gline i šljunak. Preko ovih sedimenata leži rudinski materijal. Zeolitski tuf Toponice je bele boje sa žutim limonitskim skramama po površinama pukotina. Kristalaste je građe sa sadržaj zeolitskih minerala HEU -tipa od oko 80-85%. Geneza zeolitskog tufa je vezana za zatvoreni basen, gde je postojao kontrolisani hemizam (alkalna sredina – pH 9,5-10) i dotur materijala – vulkanski pepeo, lapili i drugi tufozni materijali kao i materijal od kristalastih škriljaca sa oboda basena. Od zeolitskih minerala utvrđeno je prisustvo minerala klinoptilolita.

Na oko 25-30 km vazdušne linije od ležišta zeolitskog tufa Toponica lokalizovano je ležište zeolitskog tufa Zlatokop, vranjskog neogenog basena, koje je prema litostratigrafskoj poziciji, genezi, sklopu, hemijskim, fizičko-mehaničkim i tehnološkim svojstvima gotovo identično sa nalazištem Toponica.

### **Geologija ležišta zeolitskog tufa Jablanica-1**

Ležište zeolitisanog tufa Jablanica-1 nalazi se u ataru sela Jablanice, 15 km jugozapadno od Kruševca i pripada regiji Zapadnog Pomoravlja (Križak i dr., 2009). Istraživano područje koje zahvata južni deo kruševačke neogene depresije, pripada tektonskom rovu Rasine i izgrađeno je od tvorevina proterozoika, paleozoika, mezozoika, neogena i kvaratara. Neogeni sedimenti leže diskordantno preko starijih stena i deponovani su u složenoj tektonskoj potolini, koja pripada moravskom rovu.

U geološkoj građi samog ležišta zeolitiziranog tufa Jablanica-1 i njegovoj neposrednoj okolini učestvuju paleozojski kristalasti škriljci, miocenski sedimenti sa zeolitiziranim i peskovitim dacitskim tufovima i kvartarni sedimenti. Dacitski tuf se nalazi u jednom sloju, konkordantan je i stratifikovan između sivo-smeđih liskunskih pešćara u podini i sive slabo peskovite gline u krovini sa ustaljenim elementima pada 240/25° i debljinom u dubljem delu ležišta od 18m. Rudno telo zeolitskog tufa u okviru samog ležišta je slojevitog oblika, sa pružanjem SZ-JI i padom ka JZ (ep: 240/25). U dubljem delu ležišta debljina tufa je do 18m, a debljina zeolitisanog tufa u njemu varira od 8 do 16m, dok su na izdanku debljine tufa (7,8 m) i zeolitisanog tufa u njemu (4,6 m) erozijom smanjene.

Sloj tufa je složene građe. Gornji deo sloja je intenzivno zeolitiziran i predstavlja rudno telo izgrađeno od masivnog belog i trakastog zeolitiziranog tufa, dok je donji deo izgrađen od peskovitog tamno-sivog dacitskog tufa. Zeolitizirani tufovi su kriptokristalaste strukture, izgrađeni od sitnih fragmenata minerala i osnovne kriptokristalaste zeolitizirane mase. Osnovna masa (50-90%) je izgrađena od vulkanskog stakla, dijagenetski je izmenjena u kriptokristalasti zeolit tipa hojlandit-klinoptilolit (Križak i dr., 2009). Na osnovu mineralnog i hemijskog sastava poreklo tufa je određeno kao dacitsko.

Na osnovu utvrđenih vrednosti kapaciteta katjonske izmene (KKI) može se zaključiti da je tuf neravnomerno zeolitiziran i da u njemu postoje dva osnovna tipa: zeolitizirani tuf sa KKI od 146-191 meq/100g i tuf sa zeolitom slabije zeolitiziran, koji odgovara peskovitom tufu.

### **3. Mineraloška proučavanja zeolitskih tufova Srbije**

Veliki broj pojava i ležišta prirodnih zeolita piroklastičnog porekla široko rasprostranjenih u miocenskim sedimentima Srbije kao što su: Zlatokop (vranjski basen), Igroš, Jablanica 1 (Kopaonik), Beočin (Fruška Gora), Toponica (Kosovska Kamenica) i Slanci (Dunavski ključ kod Beograda) bila su predmet naših detaljnih istraživanja. Ležišta ovih zeolitskih tufova, prostorno i genetski vezana su za vulkanske i vulkanoklastične stene marinskih sredina senonske i neogenske starosti i jezerskih sedimenata neogene starosti. U procesima devitifikacije i dijageneze vulkanskog stakla kod zeolitskih tufova došlo je do obrazovanje hipokristalasto porfirne odnosno vitroklastične strukture. Sami zeolitski tufovi u najvećem delu sastavljeni su od hojlandita, koji je prisutan u obliku malih igličastih do pločastih kristala dimenzija od 0,1 do 100  $\mu\text{m}$  (u asocijaciji sa drugim silikatnim i alumosilikatnim fazama približno sličnih specifičnih gustina). U zavisnosti od vrste i sadržaja izmenljivog katjona, kao i termičke stabilnosti ispitivanog zeolitskog tufa, razlikujemo Ca-klinoptilolite i Ca-hojlandite. Kapaciteti katjonske izmene zeolitskih tufova imaju vrednosti od 96 do 166 meq/100 g, a spoljašnji kapaciteti se kreću od 8,0 meq/100 g do 10,5 meq/100 g

#### **Primenjene metode ispitivanja**

Rovni uzorci zeolitskih tufova obeleženi Beočin (B), Slanci (S), Igroš (I), Zlatokop (Z), Toponica (T) pripremljeni su za mineraloška, kristalohemijska i druga ispitivanja (mleveni uzorci su mokro prosejani, 100% < 63  $\mu\text{m}$ ). Kvalitativne mineraloške analize su dobijene korišćenjem polarizacionog mikroskopa ("JENAPOL-U" Zeiss-Jena) u propuštenoj svetlosti imerzionom metodom (ksilol). Skenirajući elektronski mikroskop (SEM, model JEOL JSM-6610LV) korišćen je za dobijanje hemijskih analiza (energetsko-disperzivnim spektrometrom, EDS), kao i za mikrofotografije. Uzorci za SEM analize su neparivani zlatom. Detaljne mineraloške analize dobijene su korišćenjem metode rendgenske difrakcije praha na polikristalnom materijalu (XRD). Korišćen je difraktometar marke Philips model PW-1710 sa Cu-K $\alpha$  monohromatskim zračenjem. Uzorci su snimani u opsegu 2 $\theta$  od 4-35 $^{\circ}$ . Diferencijalno-termičke analize (DTA) urađene su na uređaju marke "Netzsch STA 409EP". Uzorci su analizirani u temperaturnom opsegu od 25 do 1000  $^{\circ}\text{C}$  sa korakom od 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  u atmosferi vazduha.

#### **Hemijski sastav zeolitskih tufova Srbije**

Tokom višegodišnjeg praćenja procesa prerade zeolitske mineralne sirovine iz ležišta zeolitskih tufova Srbije, u postupku proizvodnje mineralnih adsorbenata na bazi minerala zeolita u okviru Instituta ITNMS u Beogradu, vršena su pored ostalih i višestruka kvantitativna hemijska ispitivanja te sirovine. Tom prilikom je izvedeno više kompletnih kvantitativnih hemijskih analiza sirovine zeolitskih tufova i dobijeno dosta podataka koji ovde zbog svoje obimnosti ne mogu biti ni prikazani. Neki rezultati su predstavljeni u prethodnim poglavljima a ovde je dat prosečni sadržaj svih hemijskih analiza naših ležišta zeolita. Tako je, obzirom na veliki broj obrađenih uzoraka uzetih u različitim vremenskim periodima i sa više različitih nivoa i delova ležišta, predstavljen veliki broj podataka, što svakako doprinosi većoj reprezentativnosti uzoraka i pri tom dobijenih rezultata. Prosečne vrednosti sadržaja hemijskog sastava zeolita HEU-tipa, ispitivanih ležišta zeolitskih tufova Srbije prikazani su u tabeli 1.

**Tabela 1. Prosečne vrednosti hemijskog sastava zeolitskih minerala HEU-tipa ispitivanih ležišta zeolitskih tufova Srbije**

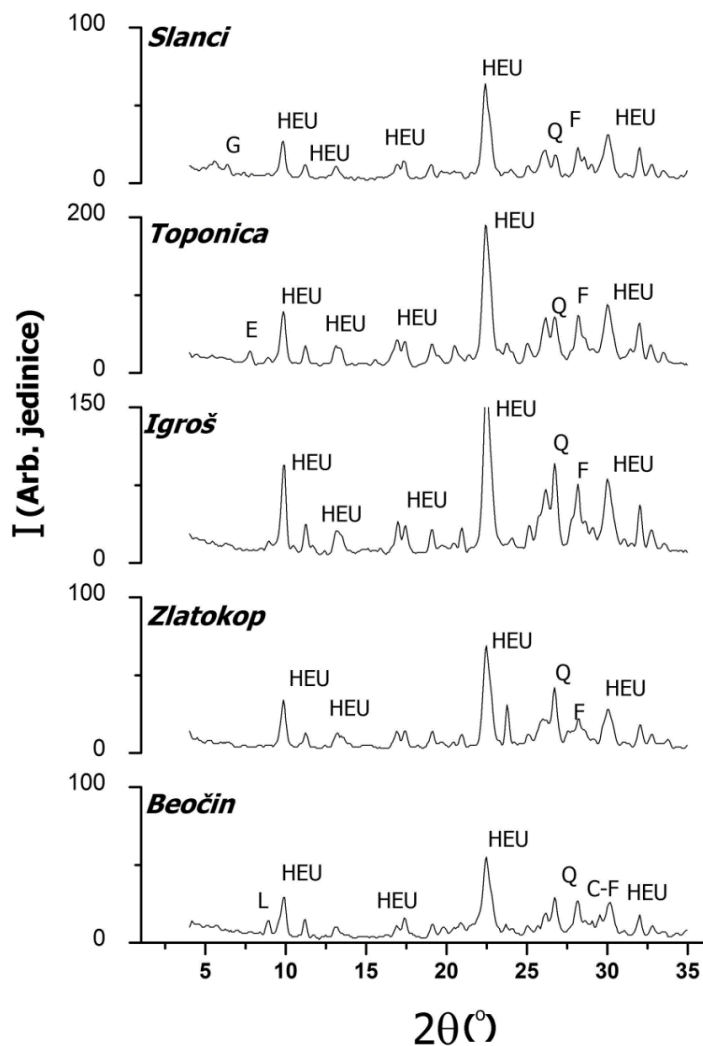
Ležište	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	G.Ž. (%)	Σ (%)
Zlatokop	65,97	12,39	1,62	1,02	3,03	0,92	0,99	0,19	14,88	101,01
Igroš	62,27	12,83	2,19	2,04	3,81	1,01	0,66	0,23	14,85	99,89
Općište-Beočin	62,86	12,18	1,09	0,86	3,29	0,53	2,71	0,27	15,83	99,62
Slanci	68,81	12,74	1,17	0,54	3,15	0,69	1,06	0,24	11,53	99,92
Toponica	65,87	12,65	1,78	1,97	3,36	0,88	1,78		11,92	100,21
Jablanica	63,58	13,39	2,58	2,33	3,56	0,91	2,70	0,07	10,15	99,27

Analizom rezultata hemijskog sastava zeolizskih tufova Srbije može se uočiti nešto viši sadržaj SiO<sub>2</sub> u ležištu Slanci, dok su sadržaji Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO i TiO<sub>2</sub> ujednačeni u tufovima Srbije. Zeolitski tuf ležišta Igroš ima nešto viši sadržaj Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i MgO, dok je viši sadržaj K<sub>2</sub>O u konstatovan u tufovima iz ležišta "Općište"-Beočin

Uzorci zeolitskog tufa ispitivani su i metodom rendgenske difrakcije praha. Mineralni sastav ispitivanih uzorka odgovara mikroskopskim ispitivanjima: minerali zeolita iz grupe hojlandita, kvarc, minerali glina, minerali feldspata uglavnom plagioklasi. Najdominantniji minerali u svim uzorcima su minerali zeolita HEU-tipa, dok je sadržaj kvarca i minerala glina značajno manji. Ostali minerali određeni mikroskopskom metodom nisu detektovani jer su ispod praga detekcije. Uporedni rendgenski difraktogrami praha ispitivanih uzoraka naših ležišta zeolitskih tufova predstavljeni su na slici 6.

Zeolitski tuf ležišta Zlatokop definisan je kao Ca-klinoptilolitski, dok su zeolitski tufovi ležišta Toponica, Beočin, Slanci i Igroš definisani kao Ca-hojlanditski.

Poređenjem prosečnih vrednosti hemijskog sastava naših ležišta zeolitskih tufova sa najpoznatijim evropskim i svetskim ležištima zeolitskih tufova, može se zaključiti da nema većih odstupanja u procentnom udelu oksidnih komponenti u samoj zeolitskoj mineralnoj sirovini, kako u poređenju sa našim ležištima tako i između svih ostalih svetskih ležišta.



**Slika 6. Uporedni difraktogrami praha uzoraka zeolitskih tufova ispitivanih ležišta (zeoliti HEU-tipa, Q-kvarc, F -feldspati, L -liskuni, E-erionit, G-gline smektitiskog tipa, C-karbonati). (prema Kašić i dr., 2017)**

Pri izradi kompletnih hemijskih analiza zeolitske mineralne sirovine i određivanju sadržaja makroelemenata u njima, određivani su i sadržaji mikroelemenata-teških metala u pomenutoj sirovini. Sadržaji mikroelemenata-teških metala u mineralima zeolita HEU-tipa srpskih ležišta zeolitskih tufova određivani su pored karakterizacije mineralne sirovine, i u cilju ispunjavanja zahteva određenih standarda radi primene zeolitske sirovine u određenim proizvodnim oblastima. Sadržaji mikroelemenata-teških metala u mineralima zeolita HEU-tipa naših ležišta zeolitskih tufova, prikazani su u tabeli 2.

**Tabela 2. Sadržaj mikroelemenata-teških metala u mineralima zeolita HEU-tipa ispitivanih ležišta zeolitskih tufova Srbije**

Ležište	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn	Mn	Sb	As
---------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
<b>Zlatokop</b>	<1	7	<4	32	4	47	10	0,19	4
<b>Igroš</b>	<1	25	-	<20	9,5	49	42	3,7	-
<b>Općište-Beočin</b>	2	8	15	21	6	37	-	<20	-
<b>Slanci</b>	3,5	15,5	50	40	10	50	57	25	-
<b>Jablanica</b>	85-90	35-40		50-52	9-10	62-70	-	-	13-57

Kako je veoma teško doći do podataka o sadržaju mikroelemenata-teških metala u najpoznatijim svetskim ležištima zeolitskih tufova, tako je teško dati i neko poređenje sa pomenutim sadržajima u našim ležištima. Može se samo pretpostaviti da sadržaji određenih mikroelemenata u zeolitskoj mineralnoj sirovini moraju ispunjavati određene standarde o maksimalnim sadržajima tih teških metala kod primene mineralne sirovine u različitim oblastima prerade i proizvodnje.

### **Kapacitet katjonske izmene (KKI) minerala zeolita u ležištima zeolitskih tufova Srbije**

Najvažnije karakteristike minerala prirodnih zeolita koje omogućavaju njihovu široku primenu u raznim oblastima privrednih aktivnosti su sposobnost adsorpcije i procesi jonske izmene. Zeoliti se svrstavaju u grupu vrlo efikasnih izmenjivača katjona. Svi minerali zeolita sadrže različite jednovalentne ili dvovalentne katjone ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) u pozicijama vanmrežnih katjona.

Kapacitet katjonske izmene je u direktnoj zavisnosti od supstitucije  $\text{Si}^{+4}$  sa  $\text{Al}^{+3}$  u tetraedarskim pozicijama minerala (Ming and Dixon 1987). Što je veći stepen izmene to je izrazitiji nedostatak pozitivnog naelektrisanja koje se kompenzuje izmenjivim katjonima. Izmenljivi katjoni (Ca, Mg, Na i K) su slabo vezani u alumosilikatnoj mreži. U procesu katjonske izmene, katjoni iz rastvora se "uvlače" u česticu zeolitskog minerala, dolaze do pozicije izmene u kojoj se već nalazi katjon i ako je katjon iz rastvora na višem stepenu selektivnosti za dati zeolitski mineral, on zamenjuje katjon iz strukture koji sada prelazi u rastvor.

Ukupan kapacitet katjonske izmene (KKI) minerala zeolita u ležištima zeolitskih tufova Srbije određen je kao suma sadržaja izmenljivih katjona (CEC). Vrste i sadržaj izmenljivih katjona u polaznim klinoptilolitskim tufovima prikazani su u tabeli 3.

**Tabela 3. Sadržaj izmenljivih katjona klinoptilolita-hojlandita u zeolitskim tufovima datih ležišta**

Ležište	<i>Izmenljivi katjoni (MmolM+/ 100g)</i>				
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
<b>Toponica</b>	95,0	11,2	18,2	15,7	<b>140,1</b>
<b>Zlatokop</b>	94,0	10,7	20,9	16,4	<b>142,0</b>
<b>Beočin</b>	114,0	7,0	9,6	35,4	<b>166,0</b>
<b>Igroš</b>	90,0	4,0	15,6	13,0	<b>122,6</b>
<b>Slanci</b>	103,0	7,0	3,0	16,0	<b>129,0</b>

#### 4. Zaključak

Zeoliti čine grupu prirodnih i sintetičkih neorganskih jedinjenja, koja poseduje specifične fizičko-hemijske osobine pogodne za industrijsku primenu. Po svom postanku, raznovrsnosti hemijskog sastava, strukturnim karakteristikama i primeni, zeoliti čine posebnu grupu alumosilikatnih minerala u okviru tektosilikata.

Zeolitski tufovi sedimentnih ležišta Srbije predstavljaju ekonomski veoma važnu mineralnu sirovinu, gde je osnovni korisni mineral HEU-tipa, sa uglavnom prisutnom klinoptilolit-hojlanditskom mineralnom serijom. U novije vreme, njihova intezivna industrijska primena stvara značajnu tražnju za ovim stenama, pa su njihova ispitivanja od velikog praktičnog značaja.

Više pojava i ležišta prirodnih zeolita piroklastičnog porekla široko rasprostranjenih u miocenskim sedimentima Srbije kao što su: Zlatokop (vranjski basen), Igroš, Jablanica 1 (kruševački basen), Općište-Beočin (Fruška Gora), Toponica (Kosovska Kamenica) i Slanci (Dunavski ključ kod Beograda) bila su predmet naših detaljnih istraživanja. Ležišta ovih zeolitskih tufova, prostorno i genetski vezana su za vulkanske i vulkanoklastične stene marinskih sredina senonske i neogenske starosti i jezerske sedimente neogene starosti.

U procesima devitifikacije i dijageneze vulkanskog stakla kod zeolitskih tufova došlo je do obrazovanja hipokristalasto porfirne odnosno vitroklastične strukture. Sami zeolitski tufovi u najvećem delu sastavljeni su od hojlandita, koji je prisutan u obliku malih igličastih do pločastih kristala dimenzija od 0,1 do 100 µm (u asocijaciji sa drugim silikatnim i alumosilikatnim fazama približno sličnih specifičnih gustina). U zavisnosti od vrste i sadržaja izmenljivog katjona, kao i termičke stabilnosti ispitivanog zeolitskog tufa razlikujemo Ca-klinoptilolitske (Zlatokop) i Ca-hojlanditske zeolitske tufove (Toponica, Općište-Beočin, Slanci i Igroš). Kapaciteti katjonske izmene naših zeolitskih tufova imaju vrednosti od 122 do 166 meq/100g, a spoljašnji kapaciteti se kreću od 8,0 meq/100 g do 10,5 meq/100g.

Na osnovu detaljnih mineraloških, kristalohemijskih, termičkih i rendgenskih ispitivanja, može se zaključiti da zeolitski tufovi sedimentnih ležišta Srbije predstavljaju sirovinu koja je

pogodna za dalju primenu u različitim oblastima (procesima adsorpcije, jonske izmene ili katalitičkim reakcijama) a time i ekonomski veoma važnu mineralnu sirovinu.

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na podršci istraživanjima prikazanim u radu (ugovor br. 451-03-47/2023-01/200023)

## LITERATURA

- Дедић Љ., (1990): Елаборат о резервама и квалитету Зеолитског туфа на локалитету Топоница код Косовске Каменице, Фонд Геозавода, Београд, 69 стр.
- Ђоковић, И., Маровић, М., Кнежевић, С., Бањац, Н., Тољић, М., (2002): Геолошка карта и тумач Београдског Дунавског Кључа 1:10000, Фонд стручних докумената Министарства за заштиту животне средине и природних ресурса Републике Србије, Фонд стручних докумената РГФ, Београд.
- Кашић В., Радосављевић С., Стојановић Ј., Радосављевић-Михајловић А., (2004): Годишњи Извештај о извршеним радовима по Пројекту геолошких истраживања зеолитских туfoва код села Сланци у Београдском Дунавском Кључу, ИТНМС, 1-26.
- Кашић В.: Минерагенија зеолитских туfoва Србије, докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2018, 168 с.
- Križak D., Maksimović M., Vojnović D., (2014): Jablanica-1–Prospective zeolite deposit, ТЕХНИКА–рударство, геологија и металургија, 65, vol. 2, Београд, 225-230.
- Ming D. W., Dixon J. B., (1987): Quantitative determination of clinoptilolite in soils by cation-exchange capacity method. *Clays and Clay Minerals*, 35, 6, 463-468.
- Мојић С., Ковачевић В., (2007): Елаборат о резервама зеолитисаног туфа и туфа са зеолитом у лежишту „Опћиште“ код Беочина. Геолошки завод Србије, Београд, 263 стр.
- Мојић С., (2010): Елаборат о резервама зеолитисаног туфа са зеолитом у лежишту "Игрош" код Бруса на рудном пољу "Игрош-Видојевићи", Фонд стручне документације Геолошког Завода Србије, 225 стр.
- Секулић Ж. (2014): Неметаличне минералне сировине у заштити животне средине, Монографија, Београд, 146 стр.
- Стангачиловић Д., (1969): Подводни вулканизам у Врдничком басену. Записници СГД за 1965. годину, 519-528.
- Стојановић Ј., Радосављевић-Михајловић А., Кашић В., (2003): Прилог познавању зеолитског туфа са локалности Сланци, код Београда. VII Симпозијум ЈАМ, Минералогииа, Годишњак ЈАМ, Београд, 42-48.