

JU ZAVOD ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA CRNE GORE
GEOLOGICAL SURVEY OF MONTENEGRO

UDK: 55/56

ISSN 0435-4249

GEOLOŠKI GLASNIK

GEOLOGICAL BULLETIN

KNJIGA XVIII BOOK

GEOLOŠKI GLASNIK	KNJIGA XVIII	str. 165	PODGORICA, 2023
------------------	--------------	----------	-----------------

Uređivački odbor - Editorial Board

dr Marko Pajović, prof. dr Branislav Glavatović, prof. dr Milan
Radulović, mr Vladan Dubljević, dr Momčilo Blagojević,
mr Neda Dević, dr Darko Božović, dr Martin Đaković,
dr Slobodan Radusinović

Glavni urednik - Chief Editor
dr Slobodan Radusinović

Tehnički urednici - Technical Editor
dr Martin Đaković i mr Neda Dević

Autori su naučno odgovorni za sadržaj svojih radova
The author are responsible for the content of their papers

*Adresa - Adress: Geološki glasnik, JU Zavod za geološka istraživanja,
Naselje Kruševac bb, 81 000 Podgorica, Crna Gora*

Grafičko uređenje - Graphical design
mr Marinko Račić

Štampa: Art Grafika, Podgorica
Tiraž: 100 primjeraka

JU ZAVOD ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA CRNE GORE
GEOLOGICAL SURVEY OF MONTENEGRO

UDK: 55/56

ISSN 0435-4249

GEOLOŠKI GLASNIK

GEOLOGICAL BULLETIN

KNJIGA XVIII BOOK

GEOLOŠKI GLASNIK	KNJIGA XVIII	str. 165	PODGORICA, 2023
------------------	--------------	----------	-----------------

SADRŽAJ - CONTENTS

BOŽIDAR V. ĐOKIĆ

Jalovišta nekih rudnika metala u Srbiji i njihovo okruženje
Tailings dumps of some metal mines in Serbia and the environment 9 - 26

DARKO BOŽOVIĆ, VLADIMIR SIMIĆ

Arhitektonsko-građevinski kamen Crne Gore, stanje i potencijali
Architectural-building stone of Montenegro, condition and potential 29 - 47

DRAGAN S. RADULOVIĆ, DARKO BOŽOVIĆ, JOVICA STOJANOVIĆ, VLADIMIR JOVANOVIĆ, DEJAN TODOROVIĆ, BRANISLAV IVOŠEVIĆ, SONJA MILIĆEVIĆ

Istraživanje u cilju definisanja tehnološkog procesa dobijanja punila za upotrebu u različitim industrijama na osnovu kračnjaka "Glavatske kuće"-Kotor
Investigation in order to define the technological process of obtaining fillers for use in various industries on the basis of limestone "Glavatske kuće"-Kotor 49 - 69

DARKO BOŽOVIĆ, IVAN DANILOVIĆ, DRAGAN RADULOVIĆ

Krečnjaci ležišta tehničko-građevinskog kamena Platac kao karbonatna sirovina
Limestones of Platac technical-building stone deposits as carbonate raw materials 71 - 81

MIA JOVANOVIĆ, SLOBODAN RADUSINOVIĆ, VLADIMIR SIMIĆ

Dosadašnja saznanja o bijelim boksitima na prostoru Crne Gore
Current knowledge about white bauxites in Montenegro 83 - 98

NIKOLIĆ GOJKO, ĆULAFIĆ GOLUB, ĐUROVIĆ RADOVAN, GOLIJANIN JELENA, VUJOVIĆ FILIP

Seizmičke i kartografske podloge u funkciji prostorno plan(er)ske dokumentacije
Seismic and cartographic basis in the function of spatial planning documentation 101 - 112

SADRŽAJ - CONTENTS

MILAN RADULOVIĆ

Hidrogeološke karakteristike terena duž planirane trase
puta Šćepan polje–Plužine

115 - 134

*Hydrogeological characteristics of the terrain along the
planned road Šćepan polje–Plužine*

MARINKO RAČIĆ

Koncept baze podataka za potrebe JU Zavoda za geološka
istraživanja Podgorica

137 - 142

*Concept of database according to needs of Geological
survey of Montenegro, Podgorica*

VLADIMIR JOVANOVIĆ, DEJAN TODORVIĆ, DRAGAN S. RADULOVIĆ, BRANISLAV IVOŠEVIĆ, SONJA MILIĆEVIĆ, DARKO BOŽOVIĆ

Peletizacija kao kvalitetna alternativa za granulaciju kalijum
i amonijum sulfatnog đubriva

145 - 152

*Peletizacija kao kvalitetna alternativa za granulaciju kalijum
i amonijum sulfatnog đubriva*

IN MEMORIAM

157 - 163

IN MEMORIAM

Slobodan Rašović

157

dr Rajka Radoičić

161

Geološki glasnik Geological bulletin	XVIII	9-26	Podgorica, 2023
-----------------------------------------	-------	------	-----------------

Božidar V. Đokić¹

JALoviŠTA NEKIH RUDNIKA METALA U SRBIJI I NJIHOVO OKRUŽENJE

Abstract

U radu su opisana jalovišta na teritoriji Republike Srbije. Jalovišta, proizvod odlaganja jalovinskog materijala, nastala su rudarenjem u Dinarskoj, Srpsko-makedonskoj i Karpato-balkanskoj metalogenetskoj provinciji. U radu su prikazana najznačajnija jalovišta iz Srpsko-makedonske metalogenetske provincije; dat je njihov prostorni raspored, dominantne mineralne sirovine čijom eksploatacijom i preradom su nastala, vrsta jalovinskog materijala, metode kojima je materijal ispitan, kao i ciljeve istraživanja. U radu je prikazana veličina jalovišta, granulometrijski i modalni sastav i sadržaji teških metala. U zaključku su date preporuke za saniranje problema. Ključne reči: jalovišta, rudarski radovi, metalogenetske zone.

Ključne reči: jalovišta, rudarski radovi, metalogenetske zone.

TAILINGS DUMPS OF SOME METAL MINES IN SERBIA AND THE ENVIRONMENT

Abstract

The paper describes tailings ponds from the territory of the Republic of Serbia. Tailings, the product of the disposal of tailings material, were created by mining in the Dinaric, Serbian-Macedonian and Carpatho-Balkan metallogenetic provinces. The paper presents the most significant tailings deposits from the Serbian-Macedonian metallogenetic province; their spatial arrangement, the dominant mineral raw materials, the type of tailings material, the methods used to examine the material, as well as the objectives of the research are given. In conclusion, recommendations are given for remedying the problem.

Key words: tailings dumps, mining works, metallogenetic zones.

¹ dr, Geološki zavod Srbije, Rovinjska 12, Beograd, e mail: bozidar.djokic@gzs.gov.rs

1. UVOD

Istorija Srbije je u velikoj meri povezana sa istorijom rudarenja, zato su u srpsku prošlost tradicionalno i veoma duboko utemeljene ove aktivnosti, čiji tragovi sežu i do preantičkog perioda. Značajni krajnji proizvod rudarenja, u prošlosti, u velikoj meri je bila proizvodnja metala. Rudarske aktivnosti, zajedno sa pratećima, činile su jednu od vodećih industrijskih grana, i bile su, u prošlosti, veoma često, glavni pokretač celokupnog društvenog razvoja (Đokić, 2012).

Rudnici su često bili okosnica razvoja celih područja. Takođe, u velikoj meri su uticali na migracije stanovništva kao i na formiranje prvih naselja (gradova). Na rudarske aktivnosti često su uticali ratovi, najezde naroda sa drugačijim navikama i potrebama, kao i drugi, često veoma složeni, socijalni i društveni uslovi. Veoma često na konkretnim prostorima Republike Srbije ne postoje direktni podaci o samim počecima rudarenja, pa je neophodno izvoditi posredne zaključke. Na primer, rudarenja u Podrinju, na Bobiji, je svakako bilo i u prerimskom periodu. Poznato je da se u Rabelju vadio bakar, a u Tisoviku olovo, cink i barit (Đokić i Jovanović, 2009). Rudarstvo kao radna delatnost na ovim prostorima zamire najezdom Slovena i Avara (VI vek), da bi novi procvat doživelo u srednjem veku. Tragovi srednjevekovnog (V do XV vek) rudarstva su potvrđeni kako u obliku podzemnih rudarskih radova, tako i na osnovu rudarskih alatki i pribora nađenih u starim rudarskim radovima. U prilog ovom su utvrđene, veoma markantne brojne humke Sasa u Lonjinu i Rujevcu. Početkom XIX veka na planini Jagodnji se primitivno kopaju i tope olovne rude. Godine 1828. država je otkupljivala olovo u Krupnju od meštana koji su ga na ovoj lokaciji topili (Đokić i Jovanović, 2006-2012). Ipak, za razvoj modernog srpskog rudarstva poseban značaj ima dolazak barona Herdera, koji, kao vrstan znalac geologije i rudarstva, zaključuje da se generalno „rudišta nepravilno otkopavaju, tako da se ništa ne može reći o njihovom ponašanju”. On takođe konstatuje da „treba najpre izraditi profile i izvršiti probna bušenja, da bi se unelo više svetlosti u rasprostranjenja rudišta” (Herder, 2014).

Na svetu još uvek nije ostvarena rudarska proizvodnja iza koje nije ostao rudarski otpad, tako da, praktično, rudarske proizvodnje nema bez otpada. Jalovišta su praktična posledica rudarske proizvodnje.

Početkom XXI veka u Srbiji su sistematizovani podaci o rudarenjima, rudnicima, često čak i osnovni podaci o (pripadajućim) jalovištima, bili veoma skromni. Geološki zavod Srbije je u kontinuitetu od 2006. do 2012. istraživao jalovišta na njenoj teritoriji (Đokić i Jovanović, 2006-2012). Predmet istraživanja su bili jalovišta rudnika metala i nemetala. Realizacijom projekta prikupljene su osnovne informacije o većini jalovišta, definisane su granice jalovinski materijal - okolno zemljište, utvrđivan je kvalitativni i kvantitativni hemijski sastav jalovinskog materijala, definisan (dominantni) faktor koji je uticao na distribuciju materijala sa jalovišta, kao i pravci transporta, ali je utvrđivan i faktor kauzalnosti u njegovoj horizontalnoj distribuciji. Ovom prilikom prikupljeni su i uzorci voda sa jalovišta,

kao i voda iz okoline koje su pod (vidljivim) uticajem ovih voda. Uzeti su uzorci zemljišta iz okoline jalovišta. U neposrednoj blizini nekih jalovišta iz, za ovu priliku, konstruisanih taložnika utvrđivan je intenziteta aerozagađenja (taložnici su projektovani u blizini flotacijskih jalovišta Grot, Veliki Majdan i Stolice).

Na projektovanja istražnih radova, a posebno na interpretaciju dobijenih rezultata, u velikoj meri su uticala iskustva i preporuke EU (Directive of the European parliament, COM: 2003.).

Rad je, u najvećoj meri, proizvod iskustva i rezultata vezanih za realizaciju projekta "Katastar jalovišta tehnogenih mineralnih sirovina Republike Srbije sa procenom rizika izvora i kapaciteta životne sredine". U radu su prikazani rezultati istraživanja jalovišta nekih rudnika metala iz Srpsko-makedonske metalogenetske provincije.

Važno je napomenuti da su u novijoj istoriji na prostoru Srbije realizovana i regionalna istraživanja ležišta i jalovišta koja su finansirana iz inostranih fondova (Nishikawa, 2008., Plejades, 2017-2020).

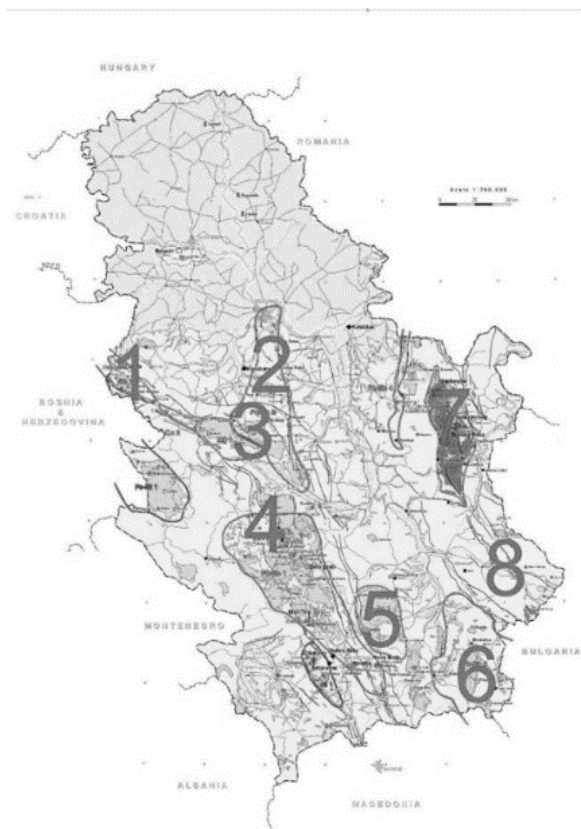
2. MATERIJALI I METODE

2.1. ISTRAŽNI PROSTOR

Jalovišta, proizvod rudarenja, prisutna su praktično na celoj površini Republike Srbije. Celu površinu, kao ožiljci, mestimično uružavaju ostaci rudarskih aktivnosti (Đokić, 2012). Povećane potrebe za proizvodima (posebno za metalima) u prošlosti su (kao i danas) imale za posledicu formiranje sve obilnijeg jalovinskog materijala.

Regionalno, a prema vrsti rudarenja i tipu jalovišta, teritorija Srbije je podeljena na oblasti severno i južno od Save i Dunava. Severno od Save i Dunava su jalovišta formirana prevashodno eksploatacijom nafte, prirodnog gasa, uglja i nemetaličnih mineralnih sirovina, sa sporadičnim pojavama (rejon Fruške gore) metaličnih mineralnih sirovina. Južno su jalovišta nastala eksploatacijom metaličnih, nemetaličnih mineralnih sirovina i uglja (Janković, 1990).

Najveća jalovišta (deponije), kako one iz istorijskih rudarskih radova, tako i one savremene, nastale eksploatacijom rudnih ležišta, vezane su za Srpsko-makedonsku i Karpato-balkansku metalogenetsku provinciju (Janković, 1990). Jalovišta nastala u Srpsko-makedonskoj metalogenetskoj pokrajini formirana su eksploatacijom i preradom ležišta Pb/Zn, ali postoje i značajne pojave, između ostalih metala, Sb, V, Mo i Sn mineralizacije (Đokić, Jovanović, 2009 i Đokić i dr., 2013). Jalovišta iz ove metalogenetske provincije su predmet rada (izuzetak su jalovišta na Avali). Jalovišta u Karpato-Balkanskoj metalogenetskoj provinciji nastaju eksploatacijom i preradom ležišta porfira i masivnih sulfidnih Cu (+/- Au) ruda. Ovu provinciju čini Borska metalogenetska zona i Zaglavak. U radu, jalovišta iz Karpato-balkanske metalogenetske provincije nisu analizirana. Na slici 1 dat je prostorni raspored jalovišta.



Sl. 1. Prostorni raspored jalovišta u Srbiji (Monthel i dr., 2002, u radu prerađeno iz Đokić, 2012)

Legenda: 1. Podrinjski metalogenetski rejon, 2. Šumadijski metalogenetski rejon, 3. Rudničko rudno polje, 4. Kopaonička metalogenetska oblast, 5. Lecki vulkanogeni kompleks, 6. Metalogenetski rejon Besiv kobile, 7. Borska metalogenetska zona, 8. Gabro-peridotitski masiv Deli Jovana

U tabeli 1 data je dominantna vrsta mineralne sirovine čijom eksploatacijom i preradom je nastalo jalovište, naziv rudnika, prostorni položaj i naziv jalovišta i gena i vrsta jalovinskog materijala.

Tab. 1. Vrsta mineralne sirovine, naziv rudnika i jalovišta i vrsta jalovinskog materijala

Dominantna mineralna sirovina	Prostorni raspored jalovišta	Naziv rudnika	Naziv jalovišta	Vrsta jalovinskog materijala	
Pb-Zn	Rudničko rudno polje	Rudnik	Prljuša	rudnički	
			Gušavi potok	rudnički	
			Zlokućanski potok	flotacijski	
	Kopaonička metalogenetska oblast	Blagodat	Musulj - Kečerinci	rudnički+ flotacijski	
			Musulj	rudnički	
			Blagodat	flotacijski	
	Kopaonička metalogenetska oblast	Kiževak	Kiževak	rudnički	
		Sastavci	Sastavci	rudnički	
		Suva ruda	Rudnica	flotacijski	
			Kukanjica potok	flotacijski	
	Lecki vulkanogeni kompleks	Lece	Lece	flotacijski	
	Šumadijski metalogenetski rejon	Kosmaj-Babe	Babe	(rudnička-topionička)	
Sb	Podrinjski metalogenetski rejon	Zajača	Zajača	rudnička-topionički	
Pb-Zn			Veliki Majdan	Stolice	flotacijski
		Veliki Majdan		flotacijski	
Ba		Zavorje	Zavorje	Džavrin potok	flotacijski
				Bobija	Bobija
Sb		Zavorje	Zavorje	Bobija	rudnički
				Brasina	rudnički+ flotacijski
				Kik	rudnički+ flotacijski
				Dolić	rudnička+flotacijski
				Kostajnik	rudnički
	Štira			rudnički	
Cip	Cip	rudnički			

2.2. NAČIN, METODE I CILJ ISTRAŽIVANJA

Jalovišta su istraživana kabinetski, terenski i laboratorijski.

U sklopu **terenskih radova**, u prvoj fazi istraživanja smo izdvojili i geopozicionirali jalovišta. U drugoj fazi jalovišta su okonturena da bi se utvrdila (jasna) granica sa okolnim zemljištem, i potvrdila verodostojnost površina koju zauzimaju. Tačan položaj svake tačke određivan je pomoću uređaja za globalno pozicioniranje tipa GARMIN-GPSmap60CSx sa preciznošću +/- 10 m. U okviru ovih aktivnosti, po projektovanoj mreži, tačkasto su prikupljeni uzorci jalovinskog materijala i zemljišta iz okoline. Da bi se izbegao biološki uticaj, uzorci zemljišta su prikupljeni sa dubine 10 cm ispod korenovog sistema. Ovom prilikom prikupljeni su uzorci voda sa jalovišta i/ili onih koje otiču sa njega, i iz okoline. Vode su prikupljene plastičnim flašama zapremine 2 l. Sadržaj flaša je konzerviran sa 3 % HNO₃. Uzorci sa jalovišta, zemljišta i vode su prikupljeni jednokratnim plastičnim rukavicama da bi se izbegao efekat dodatne kontaminacije. U okolini flotacijskih jalovišta Grot, Veliki Majdan i Stolice formirani su taložnici za kvalitativno i kvantitativno utvrđivanje intenziteta aerozagađenja (Đokić i Jovanović, 2006-2012).

U sklopu **laboratorijskih radova** obavljena je kompletna analiza šliha, granulometrijska analiza, rendgenska difrakciona analiza praha, radiometrijska analiza, hemijska analiza uzoraka jalovinskog materijala, zemljišta, vode, kao i materijala iz taložnika za utvrđivanje aerozagađenja. Analizi šliha prethodila je priprema uzorka, koja se sastojala iz prosejavanja materijala na situ veličine otvora od 2 mm do 0.068 mm. Priprema uzorka je okončana merenjima izdvojenih podfrakcija na tehničkoj vagi. Neposredna determinacija minerala je vršena binokularnom lupom i polarizacionim mikroskopom. Zastupljenost minerala je određena metodom standardnog uzorka. Minerali sa zastupljenošću ispod 0.1 % su prikazani kao povišeni tragovi, a ukoliko je konstatovano nekoliko zrna, njihova zastupljenost je prikazana u tragovima. Granulometrijska analiza je rađena radi kvantitativnog utvrđivanja zastupljenosti određenih veličina zrna i čestica glina na jalovištu. Primenjene su 1. metoda prosejavanja (sita sa otvorima 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm i 0.05 mm) i 2. pipet metoda. Rendgenska difrakcija praha je rađena radi određivanja faznog (mineralnog) sastava uzoraka. Ispitivanja su obavljena na rendgenskom automatskom difraktometru za prah, marke Philips, tip PW-1710. Uzorci su prethodno sprášeni, a preparati napravljeni u standardnom aluminijskom ramu. Snimljeni difraktogrami konstatuju mineralni sastav cele probe. Radiometrijska merenja su rađena radi utvrđivanja nivoa gama zračenja, koja potiču iz jezgra atoma koje je emisijom alfa i beta čestica pretrpelo energetske promene i ostalo u pobuđenom (ekscitovanom) stanju. Nakon posebnih priprema, analize su rađene na uređaju (gamaspektrometru) ORTEC sa detektorom BICRON i NaL kristalom dimenzija 4 x 4 inča. Radiometrijske analize su rađene radi utvrđivanja sadržaja urana, torijuma i kalijuma. Hemijske analize uzoraka jalovinskog materijala, vode, zemljišta i vazduha (taložne materije) su uključile metodu atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) kojom su kvalitativno i kvantitativno određivana

koncentracija Cr, Co, Pb, Zn, Cu, Fe, Ni, Cd, W, As, Hg, Sn i Sb; metodom plamene tehnike (AAS) je određena koncentracija Cr, Co, Pb, Zn, Cu, Fe, Ni, Cd, W; a hidridnom tehnikom (AAS) koncentracija As, Hg, Sn i Sb. Uzorci zemljišta su prevođeni u rastvor dejstvom carske vode na 10 g uzorka, čime su dobijeni rastvori nitrata i hlorida. Na isti način (AAS) su hemijski analizirani uzorci voda. Analiza uzoraka iz taložnika za aerozagađenje je odredila analizu nerastvorene, rastvorene, nesagorive i sagorive taložne materije, zbog odvajanja neorganske od organske materije u vazduhu. Kompletnom analizom je obuhvaćena taložna materija koja je veća od 10 mikrona. Sve analize su urađene u Laboratorijama Geološkog zavoda Srbije (Đokić i Jovanović, 2006-2010).

Cilj istraživanja je utvrđivanje realnog stanja (i kvaliteta) jalovinskog materijala, kao i utvrđivanje stepena (intenziteta) kvalitativno-kvantitativnog implementiranja ovog materijala u okolinu (pre svega zemljište, vodu i vazduh). U narednim fazama istraživanja planirana je analiza uticaja jalovinskog materijala na biotu.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Jalovišta Podrinskog metalogenetskog rejona. U okviru ovog metalogenetskog rejona jalovišta su nastala eksploatacijom i preradom dominantno olovo-cinkovnih ruda (Veliki Majdan), barita (Bobija) i ruda kalaja (Zajača, Stolice, Džavrin potok, Zavorje, Dolovi, Brasina, Kik i Dolić).

Jalovište Veliki Majdan zahvata površinu od 8 595 m², sa procenjenom količinom jalovine od 1 900 000 t. Granulometrijski na jalovištu dominira alevritski pesak i peskoviti alevrit. Analize šliha su pokazale veću homogenost u lakoj nego u teškoj frakciji. U svim rendgensko-difrakcionim analizama prisutnost kalcita, kvarca, dolomita i sfalerita je u kvantitativno različitim odnosima. Koncentracije radionuklida su u granicama prirodnog fona. Od teških metala hemijskim analizama su konstatovani: Pb (4 660 g/t - 1 305 g/t), Zn (3 420 g/t - 1 730 g/t), Cu (278 g/t - 198 g/t), Cr (40 g/t - 28 g/t), Co (22 g/t - 4 g/t), Ni (171 g/t - 160 g/t), Sb (0.4 g/t - 0.1 g/t), Sn (1.3 g/t - 0.5 g/t), As (245 g/t - 89 g/t), Hg (0.3 g/t - 0.2 g/t) i Fe (13.9 g/t - 8.1 %). U okolnom zemljištu utvrđeni su povećani sadržaji Cu, Cd, Co i Fe. U vodama uzvodno od jalovišta nisu utvrđene toksične koncentracije teških metala. Sadržaji Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni i Fe su u potoku nizvodno od jalovišta Veliki majdan iznad dozvoljenih sadržaja za III, odnosno IV klasu vode (Pravilnik, 31/82). Površina jalovišta Džavrin potok nije utvrđena zbog praktično neprohodne vegetacije u neposrednoj okolini jalovišta. Koncentracije radionuklida u analiziranom uzorku sa jalovišta su u vrednostima prirodnog fona. Na Bobiji su formirana dva jalovišta: na vrhu brda sa rudničkom i ručno prebiranom jalovinom, i niže sa jalovinom preostalom nakon drobljenja i separacije. Koncentracije radionuklida u uzorku sa jalovišta su u granicama prirodnog fona. Sadržaji Zn, Cu, Cd i Ni u vodama na vrhu Bobije su iznad dozvoljenih za III i IV klasu. U vodotoku ispod separacije, sadržaj Pb i Zn je iznad dozvoljenog za III i IV klasu (Pravilnik, 31/82). Jalovište Stolice čine

dva platoa koji imaju ukupnu površinu 38 402 m². Procenjena količina jalovinskog materijala je 2 500 000 t. U neposrednoj okolini jalovišta je poljoprivredno zemljište. Granulometrijski, jalovinski materijal je određen kao alevritski pesak i peskoviti alevrit. Šlih analize ukazala su na visok sadržaj metaličnih minerala, alterisanih zrna i lakih minerala. Veoma su zastupljeni minerali koji su usled tehnoloških procesa stopljeni. Rendgenska analiza najsitnijih frakcija, prema relativnoj zastupljenosti, ukazuje u kvantitativnom smislu, odnose: kvarc > kalcit > dolomit ≥ gline. Teški metali se na jalovištu javljaju u sledećim koncentracijama: Pb (1 185 g/t - 50 g/t), Zn (3 180 g/t - 633 g/t), Cu (188 g/t - 55 g/t), Cd (1 g/t), Cr (25 g/t - 14 g/t), Co (13 g/t - 6 g/t), Ni (152 g/t - 73 g/t), Sb (7.9 g/t - 0.1 g/t), Sn (2.4 g/t - 0.8 g/t), As (421 g/t - 115.4 g/t), Hg (0.2 g/t - 0.1 g/t) i Fe (12.3 g/t - 1.7 %). Koncentracije radionuklida su u granicama prirodnog fona. Koncentracije As u vodama iz okoline jalovišta su veće od maksimalno dozvoljenih za III i IV klasu (Pravilnik, 31/82). Koncentracije teških metala u jalovišta Brasina su sledeće: Pb (83 g/t - 27 g/t), Zn (110 g/t - 54 g/t), Cu (33 g/t - 23 g/t), Cd (<1 g/t), Cr (100 g/t - 77 g/t), Co (20 g/t - 17 g/t), Ni (115 g/t - 101 g/t), W (<20 g/t), Sb (0.1 g/t), Sn (2.8 g/t - 2.1 g/t), As (12.1 g/t - 11.3 g/t), Hg (0.1 g/t) i Fe (6 g/t - 5.3%). Koncentracije radionuklida su u granicama prirodnog fona. U jalovinskom materijalu jalovišta Kostajnik utvrđeni su teški metali u sledećim koncentracijama: Pb (89 g/t - 55 g/t), Zn (235 g/t - 66 g/t), Cu (35 g/t - 29 g/t), Cd (1 g/t - <1 g/t), Cr (35 g/t - 23 g/t), Co (4 g/t - <1 g/t), Ni (120 g/t - 115 g/t), W (<20 g/t), Sb (0.1 g/t), Sn (1.5 g/t - 0.8 g/t), As (14.1 g/t - 12.1 g/t), Hg (0.2 g/t - 0.1 g/t) i Fe (1.5 g/t - 1.1 %). Koncentracije radionuklida su u granicama prirodnog fona. Na jalovištu Štira koncentracije teških metala su sledeće: Pb (88 g/t - 63 g/t), Zn (222 g/t - 175 g/t), Cu (46 g/t - 35 g/t), Cd (2 g/t - 1 g/t), Cr (111 g/t - 83 g/t), Co (25 g/t - 10 g/t), Ni (124 g/t - 114 g/t), W (<20 g/t), Sb (0.1 g/t), Sn (2 g/t - 1.3 g/t), As (151 g/t - 16 g/t), Hg (0.1 g/t) i Fe (13.6 g/t - 4.6 %). Koncentracije radionuklida su u granicama prirodnog fona. U jalovištu Dolić utvrđeni su teški metali u sledećim sadržajima: Pb (776 g/t - 213 g/t), Zn (397 g/t - 169 g/t), Cu (83 g/t - 40 g/t), Cd (1 g/t), Cr (51 g/t - 41 g/t), Co (8 g/t), Ni (130 g/t - 81 g/t), W (<20 g/t), Sb (0.1 g/t), Sn (2.2 g/t - 0.9 g/t), As (16.1 g/t - 15.3 g/t), Hg (0.2 g/t - 0.1 g/t) i Fe (2.7 g/t - 2.2 %). Koncentracije radionuklida su u granicama prirodnog fona. Na jalovištu Kik teški metali se javljaju u sledećim koncentracijama: Pb (99 g/t - 29 g/t), Zn (64 g/t - 18 g/t), Cu (22 g/t - 14 g/t), Cd (<1 g/t), Cr (20 g/t - 17 g/t), Co (7 g/t - 5 g/t), Ni (61 g/t - 53 g/t), W (<20 g/t), Sb (0.2 g/t - 0.1 g/t), Sn (1.3 g/t - 0.8 g/t), As (142 g/t - 15.3 g/t), Hg (0.1 g/t) i Fe (2.6 g/t - 1.4 %). Na jalovištu Cip koncentracije teških metala su: Pb (242 g/t), Zn (75 g/t), Cu (22 g/t), Cd (1 g/t), Cr (51 g/t), Co (3 g/t), Ni (141 g/t), W (<20 g/t), Sb (0.1 g/t), Sn (0.9 g/t), As (22.6 g/t), Hg (0.1 g/t) i Fe (3.7 %). Na jalovištu Zavorje koncentracije teških metala su: Pb (32 g/t), Zn (111 g/t), Cu (17 g/t), Cd (1 g/t), Cr (22 g/t), Co (3 g/t), Ni (43 g/t), W (<20 g/t), Sb (0.1 g/t), Sn (0.9 g/t), As (22.6 g/t), Hg (0.1 g/t) i Fe (1.1 %). U neposrednoj blizini grada Zajača formirano je topioničko jalovište nastalo odlaganjem topionički prerađene jalovine iz rudnika Zavorja, Štire i Brasine. Ovo jalovište je služilo i kao odlagalište materijala zaostalog nakon recikliranja akumulatora. U jalovinskom materijalu su

uočena bela cvetanja koja ukazuju na lokalno vrlo visoke koncentracije teških metala (Đokić i Jovanović, 2006-2012).

Šumadijski metalogenetski rejon. U okviru ovog metalogenetskog rejona, rudarenja su uglavnom vezana za eksploataciju i prerade ruda olova i cinka na prostorima Kosmaja i Avale. Značaj rudarenja u ovom prostoru uglavnom su istorijska.

Eksploatacija i prerada ruda na Kosmaju seže do rimskog perioda, a svoju ekspanziju doživljava od I do IV veka. Iz tog perioda evidentirano je oko 500 okana, raskopa i rovova na Kočanskom rtu, Glavčini, Parlogu, Steničkim barama, Rusjanku, Ražnjevima i Gradištu. Rudarenja su vršena na površini preko 6 km². Rimska okna i niskopi bili su u vezi sa mrežom galerija koje su dopirale do nivoa podzemnih voda ili nekoliko metara ispod njih. Prema podacima iz 1875. godine na Kosmaju je ostalo više od 1 Mt troske sa preko 6 % Pb i do 50g/t Ag. Početkom XX veka pretopljeno je preko 300 000 t kosmajskih troski i proizvedeno više od 14 000 t Pb (Đokić i dr., 2005).

Jalovišta Rudničkog rudnog polja. Jalovišta u ovom rudnom polju su uglavnom vezana za eksploataciju i preradu ruda olova i cinka. Veća jalovišta u Rudničkom rudnom polju su Zlokućanski potok, Gušavi potok i Prljuša. Šira okolina obiluje rudarskim aktivnostima koji sežu do rimskog perioda.

Najznačajnije je jalovište Zlokućanski potok koje je nastalo pregrađivanjem istoimenog potoka. Dužina jalovišta je 1 240 m, a širina 420 m. Aktuelna površina jalovišta je 32 h 14 a 2 m². Zemljište u neposrednom okruženju je poljoprivredno. U blizini jalovišta je naselje Majdan. Granulometrijski jalovinski materijal je određen kao peskoviti alevrit i alevritski pesak. Radiometrijske analize su pokazala da su u uzorcima niske koncentracije radionuklida, odnosno da su u granicama prirodnog fona. U jalovinskom materijalu teški metali se javljaju u sledećim sadržajima: As (433 g/t - < g.d.), Cu (700 g/t - 60 g/t), Fe (14-6 %), Mn (4 200 g/t - 2,450 g/t), Ni (905 g/t - < g.d.), Pb (3 250 g/t - 450 g/t), Zn (8 300 g/t - 450 g/t), Ag (115 g/t - < g.d.), Bi (45 g/t - < g.d.), Co (59 g/t - < g.d.), Cr (490 g/t - < g.d.), Mo (10 g/t - < g.d.), Ti (3 200 g/t - < g.d.), V (660 g/t - < g.d.), W (110 g/t - < g.d.) i Zr (200 g/t - 100 g/t). U vodama na jalovištu i oko njega povećane su koncentracije As, Hg, Sb, Fe, Cu i Pb u odnosu na III i IV, a Cd, Ni i Zn u odnosu na I i II klasu (Pravilnik, 31/82, Đokić i Jovanović, 2006-2012).

Kopaonička metalogenetska oblast. Jalovišta u ovoj metalogenetskoj oblasti su vezana za eksploataciju i preradu olovno-cinkovih ruda. Markantna su jalovišta i Kiževak, Sastavci i Rudnica i Kukanjica potok.

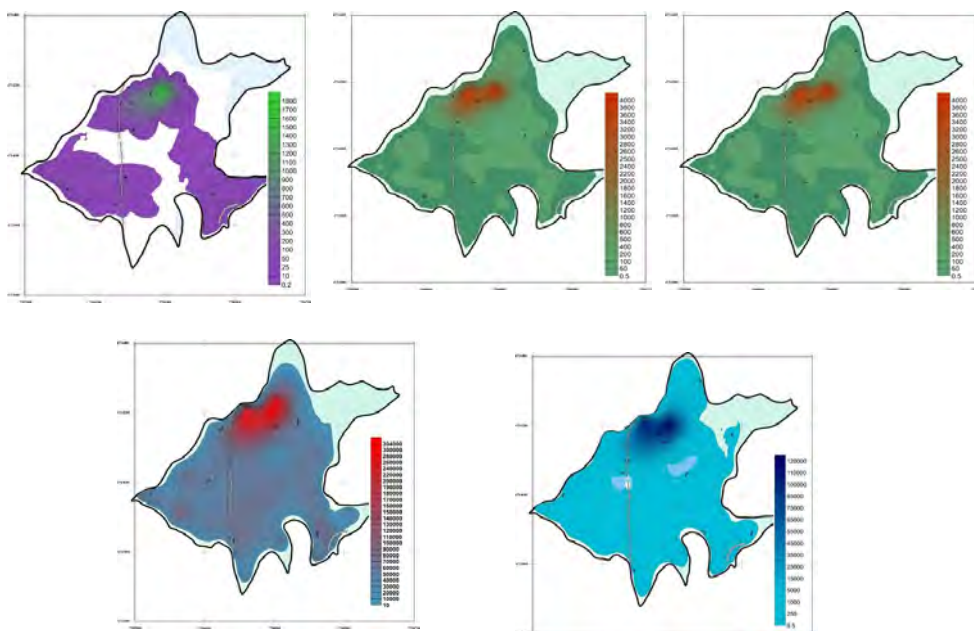
Jalovište Rudnica se nalazi u Malom polju između reke Ibar i saobraćajnice Raška-Kosovska Mitrovica. Dužina jalovišta je 610 m, a širina 250 m. Smešteno je na površini 18 h 79 a 8 m². Granulometrijski jalovinski materijal odgovara pesku, alevritskom pesku i peskovitom alevritu. Analize šliha ukazuju na heterogenost, čak i u slučaju uzoraka koji pokazuju hronološki kontinuitet u pogledu deponovanja. Rendgenska difrakciona analiza najsitnijih frakcija pokazuje izvesnu materijalnu homogenost. U jednom delu jalovišta halkopirita ima tri puta više od andradita, a

ostale mineralne vrsta su podređene. Takođe, lokalno, kvarca i gipsa ima podjednako, ili kvarc znatno dominira nad ostalim mineralnim fazama. U jalovištu teški metali se javljaju bez uočene prostorne zakonomernosti u koncentracijama: Pb (200 009 g/t - < g.d.), Zn (139 731 g/t - 75 g/t), Cd (< g.d.), Sb (14 g/t - < g.d.), As (1 201 g/t - 181 g/t), Ni (140 g/t - < g.d.), Cr (365 g/t - < g.d.g/t) i Fe (203 234 g/t - 456 g/t). Radiometrijskim analizama je lokalno utvrđena povećana koncentracija radionuklida u odnosu na prirodni fon (Đokić i Jovanović, 2006-2010). Površina jalovišta Kukanjica potok je 10 ha 48 a 9 m². U granulometrijskim analizama klasti se javljaju u opsegu glina-alevritski pesak. Analiza šliha nije pokazala zakonomernost u distribuciji. U lakoj frakciji konstatovani su feldspati, kalcit, odlomci stena i alterisana zrna. Rendgenska difrakciona analiza najsitnijih uzoraka je pokazala da kvarc dominira nad glinama, sideritom, piritom, gipsom i ankeritom. Lokalno se javlja feldspati i kalcit. Radiometrijskim analizama su utvrđene koncentracije radionuklida u granicama prirodnog fona. Hemijske analize uzoraka sa flotacijskog jalovišta nisu pokazale zakonomernosti u pogledu distribucije. U svim analiziranim uzorcima zemljišta iz okoline jalovišta koncentracije Zn i As su u fitotoksičnom opsegu (Pravilnik 23/94). Koncentracije Co, Cr, Sb, Sn, Cu, Cd i As su lokalno u povećanom sadržaju. Rezultati hidrohemijjskih analiza su pokazale povećane sadržaje Pb, Zn i Fe u odnosu na II klasu vode. Koncentracije As i Sb su iznad dozvoljenih za IV klasu vode (Pravilnik 31/82, Đokić i Jovanović, 2006-2012).

Lecki vulkanogeni kompleks. Za ovaj vulkanogeni kompleks značajna je eksploatacija i prerada olovno-cinkovih ruda.

Jalovište Lece nastalo je deponovanjem hidraulično istakane jalovine koja zauzima površinu od 142 473 m². Deponovanje materijala je obavljeno na platoima formiranim pregrađivanjem sa devet brana. Prema granulometrijskom sastavu, jalovište je izgrađeno od alevritskog peska i peskovitog alevrita. Analize šliha reprezentativnih uzoraka sa platoa su pokazale kvalitativne razlike. Rendgenska difrakciona analiza najsitnijih frakcija je pokazala da kvarc znatno dominira nad ostalim mineralnim vrstama, feldspata ima 5-6 puta manje dok su sfalerit, gline i galenit zastupljeni sa svega nekoliko procenata. U većini voda sa i iz okoline su konstatovane koncentracije Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, As i Fe preko maksimalno dozvoljenih (Pravilnik 31/82, Đokić i Jovanović, 2006-2012). Uzorci vode uzeti iz bunara severno i zapadno od jalovišta takođe pokazuju povećane sadržaje teških metala (Pravilnik 31/82, Đokić i dr., 2008).

Metalogenetski rejon Besne kobile. Za ovaj metalogenetski kompleks značajna su jalovišta nastala eksploatacijom i preradom olovno-cinkovih ruda. Najznačajnija su Grot, Musulj i Musulj-Kekerinci.



Sl. 2. Površinska distribucija (sa leva na desno): As (gore levo), Cu, Zn, i Pb i Fe (dole desno) na flotacijskom jalovištu Grot, (iz Đokić, 2012.)

Najznačajnije je flotacijsko jalovište Grot. Na flotacijskom jalovištu se nalazi oko 5.5 miliona tona flotiranog jalovinskog materijala (Đokić i Jovanović, 2008). Granulometrijski materijal odgovara alevritskom pesku i alevritu. Analizom šliha utvrđena je heterogenost u materijalnom smislu, kako minerala koji se javljaju u koncentracijama iznad 0.1 % zastupljenosti, tako i onih koji su znatno manje zastupljeni. U pogledu hemijskog sastava uzoraka sa jalovišta uočene su određene pravilnosti u njihovoj površinskoj distribuciji. Maksimalne koncentracije utvrđene su u severnim delovima jalovišta (sl. 2). Rendgenska difrakciona analiza najsitnijih frakcija je pokazala da svi uzorci sadrže kvarc, gline, feldspate i halkopirit. Analize zemljišta su pokazale fitotoksične koncentracije Cu, Pb, Zn, Sn i Hg u većini uzoraka. Sadržaj ostalih analiziranih teških metala nije u fitotoksičnom opsegu (Pravilnik 23/94). Koncentracije Cu, Zn, Cd, Pb i Fe su u vodama sa jalovišta i u onim koje su u neposrednom kontaktu sa njim, povećane u odnosu na maksimalno dozvoljene. Sadržaj ostalih teških metala je uglavnom u dozvoljenim koncentracijama (Pravilnik 31/82). Jalovište Musulj-Kekerinci zahvata površinu 6 628 m². Prema proceni na ovom prostoru je, nakon prestanka rada flotacije, ostalo oko 10 000 t flotiranog jalovinskog materijala (Đokić i Jovanović 2008). Prema granulometrijskom sastavu, jalovinski materijal spada u šljunkoviti mulj, peskoviti alevrit i alevrit. Analize šliha su potvrdile veliku heterogenost u materijalnom sastavu. Rendgenska difrakciona analiza najsitnijih frakcija je takođe pokazala razlike u kvalitativnom i kvantitativnom smislu. U vodama nizvodno od jalovišta konstatovane su koncentracije Cu, Zn, Cd,

Pb i Fe iznad maksimalno dozvoljenih sadržaja. Koncentracije uzvodno su u dozvoljenim koncentracijama (Pravilnik 31/82, Đokić i Jovanović, 2006-2012, Đokić, 2012).

4. DISKUSIJA

Geohemijske karakteristike jalovišta su bile predmet interesovanja brojnih istraživanja. Međutim, ova istraživanja često nisu bila sistematična, i obično su rađena za lokalne potrebe (najčešće za potrebe rudnika koji najviše doprinosi njihovom formiranju). Utvrđeni problemi distribucije materijala sa jalovišta su tretirana lokalno, pa zato u radovima, uglavnom izostaje analiza uticaja jalovišta na zemljište, vodu i vazduh u okolini. Obrada uticaja jalovišta na prostoru Republike Srbije data je u projektu „Katastar jalovišta tehnogenih mineralnih sirovina Republike Srbije sa procenom rizika izvora i kapaciteta životne sredine” (Đokić i Jovanović, 2006-2012). U projektu su analizirana jalovišta rudnika metaličnih i nemetalčnih mineralnih sirovina. Konstatovan je veći uticaj jalovišta koja nastaju eksploatacijom metalčnih mineralnih sirovina. Takođe, u projektu su, jalovišta generalno razvrstana na rudnička i flotacijska. Rudnička jalovišta imaju uticaj na životnu sredinu, ali je mnogo veći uticaj flotacijskih jalovišta. Razlog je što se prilikom tehnološke prerade rude koriste najrazličitiji kancerogeni cijanidi, aromatična jedinjenja i organski rastvarači. Ovo je osnovni razlog što su u radu diskutovana samo flotacijska jalovišta. Agensi, korišćeni pri tehnološkoj preradi, deponovani na jalovište, sa njega veoma lako dolaze do zemljišta, vode i vazduha. Razmatranja u diskusiji su generalna.

Rude čijom eksploatacijom, a posebno preradom, su formirana jalovišta uglavnom su bile polimetalčne. Procenat iskorišćenja korisne komponente u prošlosti je, takođe, bio znatno manje nego danas. To je i razlog što se na deponijama danas često sreću (i) rudni minerali. Razlog su i neadekvatne tehnologije prerade rude. Tehnologije su u prošlosti često i menjane. U dokumentaciji u rudnicima uglavnom ne postoji direktna veza vrste rude, korišćene tehnologije i delova jalovišta na kome je materijal deponovan. Fizički i hemijski tretiran, a neiskorišćen materijal, (sada) veoma često je u biodostupnom stanju i odložen je na deponiju (jalovište). Jalovinski materijal je uglavnom na isti (ili slični način - hidrociklonom) fizički deponovan na ista mesta na jalovište. Prisustvo teških metala (kvalitativno) vezano je za rudu, a kvantitativni odnosi za njenu tehnološku obradu i egzogene faktore. Ovaj materijal je često eolskim i gravitacionim putem resedimentovan u druge delove jalovišta. Morfologija terena (i jalovišta što proizilazi iz morfologije terena) lokalno je uticala na heterogenost u distribuciji materijala. Mestimično na jalovištima koja su nastala deponijom flotiranog materijala su vidljivi uticaji industrijske pripreme rude (drobljenje, mlevenje i tretman agresivnim hemijskim agensima). Na ovaj način su formirani agregati od zrna genetski različitih mineralnih klasa. Jalovinski materijal na flotacijskim jalovištima se nalazi u stanju biološkog vakoma. Veoma retko je konstatovana pionirska vegetacija, najčešće podbel (*Tussilago farfara*) i u delovima pod vodom trska (*Phragmites australis*, Đokić i Jovanović, 2006-2012).



Sl. 2. Razvejavanje najsitnijih frakcija sa površina jalovišta (flotacijsko jalovište rudnika Grot, iz Đokić V.B., 2012)

Na površini zemljišta u okolini jalovišta često je vidljiva mineralizovana prašina (jalovinski materijal) razvejana sa deponije (sl. 2). Na zemljištu i vodama oko jalovišta konstatovani su teški metali koji veoma štetno utiču na čoveka. Teški metali prodiru vertikalno u profil zemljišta. Ovaj materijal je konstatovan i u vazduhu. Prašina razvejavana sa jalovišta bogata je sa česticama metala. Preko ovih čestica ona može da direktno utiče na organe disanja (Komatina, 2001). Kvalitet vode zavisi od uslova korišćenja zemljišta (Dorfer i dr., 2018.). U tabeli 2 prikazani su teški metali koji su konstatovani u okolini pojedinih jalovišta.

Takođe, radiometrijske analize u jalovištu Rudnica ukazuju na lokalno (iznad prirodnog fona) povećane koncentracije U.

Teški metali konstatovani u zemljištu i vodi u okolini jalovišta su poreklom sa površine jalovišta. Plasirane u zemljište i vodu veoma lako se uvode u lanac ishrane.

Tab. 2. Konstatovani teški metali u sadržajima koji su iznad dozvoljenih u zemljištu i vodi sa i oko jalovišta

Jalovište	Zemljište	Voda
Veliki majdan	<i>Cu, Cd, Co, Fe</i>	<i>Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Fe</i>
Bobija	-	<i>Zn, Cu, Cd, Ni, Pb</i>
Stolice	-	<i>As</i>
Zlokućanski potok	-	<i>As, Hg, Sb, Fe, Cu, Pb, Cd, Ni, Zn</i>
Kukanjica potok	<i>Zn, As, Co, Cr, Sb, Sn, Cu, Cd, As</i>	<i>Pb, Zn, Fe, As, Sb</i>
Lece	-	<i>Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, As, Fe</i>
Grot	<i>Cu, Pb, Zn, Sn, Hg</i>	<i>Cu, Zn, Cd, Pb, Fe</i>
Musulj-Kekerinci	-	<i>Cu, Zn, Cd, Pb, Fe</i>

Od toksičnih elemenata u zemljištu i vodama, u okolini jalovišta, konstatovana je živa, arsen, kadmijum i olovo. Živa je izuzetno toksičan element. Spada u najotrovnije metale. Pojedina njena jedinjenja lako adsorbuje ljudski organizam. Deponuju se u mozgu. Takođe, veoma lako se može adsorbovati kroz kožu. Republika Srbija je potpisnik Minamatske konvencije o živi kojom je, između ostalog, definisano ispravno upravljanje otpadom koji sadrži živu (eur-lex.europa.eu). Arsen je posebno izučavan poslednjih decenija. Postoje mišljenja da je esencijalan za živi svet, mada njegove biohemijske funkcije nisu poznate. Poznato je da povećane koncentracije ovog elementa dovode do periferno-vaskularnih poremećaja sa gangrenom i promenama na koži (hiperkeratozis i hiperpigmentacija). Kadmijum biljke veoma lako adsorbuju preko korenovog sistema, što dovodi do njihovog usporenog rasta. U ljudskom organizmu akumulira se u bubrezima i jetri. Takođe, kontaminacija ovim elementom dovodi do bolnih skeletnih deformacija, koje počinju dekolacijom zuba. Ovaj element uzrokuje i promene u metabolizmu. Bolest povezana za povećane koncentracije olova zove se plumbizam i bila je poznata još iz antičkog doba. Plumbizam dovodi do moždanih poremećaja, mentalnih deficita i problematičnog ponašanja. Dugotrajno trovanje olovom dovodi i do nefritisa (Jović, Jovanović, 2004).

5. ZAKLJUČAK

Srbija obiluje deponijama nastalim nakon eksploatacije i prerade mineralnih sirovina. Ovaj materijal deponovan u nekim, čak i zaštićenim i/ili nastanjenim regijama utiče na njihovo fizičko devastiranje. Pristup problemu ovih ovim deponijama mora da bude multidisciplinarni zbog veoma složenog načina kako su deponije nastale. Svako jalovište ima svoju specifičnost.

Republika Srbija ima osnovne informacije o praktično svim jalovištima na njenoj teritoriji. Ove informacije se odnose na njihov materijalni sastav (hemijski, sedimentološki, radiometrijski). Takođe, generalno su poznati pravci migracije ovog materijala u zemljište, vodu i vazduh u okolini.

U narednom, vrlo bliskom periodu, neophodno je u kontinuitetu nastaviti ispitivanja ovog materijala i to: 1. sa aspekta potencijalne mineralne sirovine (kroz ponovo procesuiranje rude ukoliko je to ekonomski opravdano); 2. kroz valorizaciju jalovine kao sekundarni agregat u putogradnji. Jalovinski materijal ima uticaj na okolno zemljište i vodu. Kroz predložene mere neutralisao bi se, ili bar minimalizirao uticaj jalovišta na medijume životne sredine.

SUMMARY

In the past, mining was very often the driving force behind the economic development of entire areas in the territory of the Republic of Serbia. Tailings are created as a product of mining activities. There are practically no mining activities that are not accompanied by the formation of landfills. Traces of mining are visible practically on the entire territory of Serbia.

The first systematic regional recording traces of mining (through the evidence of tailings dumps) on the territory of Serbia is related to the arrival of Baron Herder at the beginning of the 19th century.

From 2006. to 2012., the project “Cadastre of technogenic mineral raw materials tailings of the Republic of Serbia with an assessment of the risk of sources and environmental capacity” was implemented. On this occasion, a cadastre of tailings of metallic and non-metallic mineral raw materials was made. During the analysis of their impact on the environment (soil, water and air from the environment), it was concluded that the trace of tailings of metallic mineral raw materials is much larger and more harmful. This is especially pronounced in the case of tailings material that was additionally chemically treated during technological processing. Through the implementation of the mentioned project, information was gathered on the locations of the tailings ponds and their size. The tailings material-surrounding land boundaries were also clearly defined, the qualitative and quantitative chemical composition of the tailings material was determined, and the critical factors that influenced the distribution of materials from the tailings site and the transport directions were defined. Water samples from the tailings pond and those from the surrounding area were collected and analyzed; around some tailings dumps precipitators were placed, through which the intensity of air pollution was determined. The work mainly used data from this project.

Tailings dumps are regionally divided based on the type of mining and type of tailings. Also, tailings are classified on the basis of the dominant type of mineral raw material, the exploitation and processing of which created them, the names of the mines are given, spatial location and name of the tailings as well as the genesis and type of tailings. In the results and discussion, a part of the individual analysis of

tailings ponds and the (determined) impact on the living environment are presented. The impacts of historical tailings on the living environment are very significant. The material from the tailings dump arrives on the surrounding land, often classifies this lands as phytotoxic. Heavy metals from tailings ponds are very often detected in the surrounding waters. Those placed here are very quickly introduced into the food chain.

The paper emphasizes that each tailings dump is specific. As such, each tailings site requires a unique approach.

It is significant that the Republic of Serbia has basic information about tailings ponds on its territory, as well as about their impact on the environment. The Tailings dumps are living objects, and therefore their continuous examination is necessary. The paper also presents a proposal for valorizing this material as a potential mineral raw material or/and as a secondary aggregate in road construction.

In the recent past, there have been other investigations of tailings ponds on the territory of the Republic of Serbia. These researches were financed from foreign sources.

ZAHVALNOST

Većina podataka koji su korišćeni za pisanje rada su prikupljeni realizacijom projekta „Katastar jalovišta tehnogenih mineralnih sirovina Republike Srbije sa procenom rizika izvora i kapaciteta životne sredine (2006-2010)” koji je finansiran sredstvima Ministarstva životne sredine i prostornog planiranja Republike Srbije. Veliko hvala profesoru Vladimiru Simiću koji mi je veoma pomogao prilikom konačnog uobličavanja rada.

LITERATURA

Dorfer A., Vidojević D., Andrašević J., Vasin J., Milutinović M., Berbić N., 2018: *Vodič za održivo upravljanjem zemljištem na lokalnom nivou u Republici Srbiji*. Republika Srbija: Ministarstvo zaštite životne sredine, UN environment, gef., Beograd. ISBN:978-86-900129-0-9.

Directive of the European parliament and of the council on management of waste from extractive industries – COM (2003) 319 final; dostupno 15.03 2003.

Đokić V.B., 2012: *Geohemijske karakteristike flotacijskog jalovišta rudnika Grot (jugoistočna Srbija)*, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

Đokić B. V., Jelisavac-Simić J., Simić Đ., 2005: *Geoekološke karakteristike Kosmaja*. Posebno tematsko izdanje. Konferencija Životna sredina i ljudsko zdravlje sa međunarodnim učešćem, pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, Društvo za širenje i primenu nauke i prakse u zaštiti životne sredine Srbije i Crne Gore „Ecologica”, Fakultet za fizičku hemiju, Privredna komora Srbije, Privredna komora Beograda, Savez inženjera Srbije i Crne

Gore, Beograd, str., 61-68.

Đokić V. B., Jovanović M. 2008: *Flotacijsko jalovište Kriva Feja*. III simpozijum reciklažne tehnologije i održivi razvoj, Tehnički fakultet u Boru Univerziteta u Beogradu, Katedra za mineralne i reciklažne tehnologije, Sokobanja, str. 68-74.

Đokić V. B., Poznanović M., Jovanović M., 2008: *Teški metali u vodama oko jalovišta olovno-cinkanog rudnika Lece (južna Srbija)*. Međunarodna konferencija Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad, Vršac, str. 344-348.

Đokić B. V., Jovanović M., 2009: *Tehnogenic waste dumps of metal mines in Serbia*. Work shop: Applied Environmental Geochemistry Antropogenic impact on the human environment in the SE Europe. RESTCA, Ljubljana, p. 36-38.

Đokić V.B., Jovanović M., 2006-2012: *Katastar jalovišta tehnogenih mineralnih sirovina Republike Srbije sa procenom rizika izvora i kapaciteta životne sredine*. Fond ministarstva životne sredine i prostornog planiranja, Beograd.

Đokić, B.V, Simić V., Jovanović M., 2013: *Geohemija većih jalovišta rudnika metala Zapadne i Centralne Srbije*. Tehnika Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Beograd, ISSN 0350-2627. COBISS. SR-ID 2527490. 1041-1051

Implementacija projekta Plejades GmbH, DMT GmbH@Co.KG, Nemačka, Evropska unija, 2017-2020: *Katastar rudarskog otpada Republike Srbije*, Beograd.

Janković S., 1990: Rudna ležišta Srbije. *Regionalni metalogenetski položaj, sredine strvaranja i tipovi ležišta*. Republički društveni fond za geološka istraživanja. Katedra ekonomske geologije. Rudarsko - geološki fakultet, Beograd, str. 760.

Јовић В., Јовановић Л., 2004: *Геохемијске основе еколошког менаџмента*. Друштво за ширење и примену науке и праксе у заштити животне средине Србије и Црне Горе „Ecologica”, Београд, 216 стр.

Komatina M., 2001: *Medicinska geologija*. Tellur-Geoinženjering, Beograd. p. 252.

Monthel J., Vadala P., Leistel J.M., Cottard F. with the collaboration with Ilić M., Strumberger A., Tosovic R., Stepanovic A., 2002: *Mineral deposits and mining districts of Serbia*. Compilation map and GIS databases. Ministry of Mining and energy. Geoinstitut, Beograd, BRGM/RC-5148-FR, 53.

Nishikawa Y., 2008: *The Study on Master Plan for Promotion of Mining Industry in Republic of Serbia*. Final Report. Japan International Cooperation Agency Economic Development Department, Beograd.

Službeni glasnik SRS broj 31, 1982: *Pravilnik o opasnim materijama u vodama*. Beograd.

Službeni glasnik RS br. 23., 1994: *Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja*. Beograd.

Sigmund August Wolfgang fon Herder., 2014: *Rudarsko putovanje po Srbiji sprovedeno 1835. godine po nalogu vlade Kneževine Srbije*. Biblioteka Sabornik. JP Službeni glasnik, Beograd.

<https://eur-lex.europa.eu/HR/legal-content/summary/minamata-convention-on-mercury.html>

Geološki glasnik Geological bulletin	XVIII	29 - 47	Podgorica, 2023
-----------------------------------------	-------	---------	-----------------

Darko Božović¹, Vladimir Simić²

ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKI KAMEN CRNE GORE, STANJE I POTENCIJALI

Apstrakt

Arhitektonsko-građevinski ili ukrasni kamen je veoma značajna, ako ne i najznačajnija nemetalna mineralna sirovina u Crnoj Gori koja ima veoma veliki potencijal. U Crnoj Gori je otkriveno više ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena, koja se javljaju u u okviru različitih geoloških formacija. U ovom radu prikazana su ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena, geološke karakteristike, rezerve, kvalitet i potencijalnost arhitektonsko-građevinskog kamena.

Ključne riječi: arhitektonsko-građevinski kamen, rezerve, kvalitet, potencijalnost.

ARCHITECTURAL-BUILDING STONE OF MONTENEGRO, CONDITION AND POTENTIAL

Abstract

Architectural-building or decorative stone is very important, if not the most important non-metallic mineral raw material in Montenegro, which has a very high potential. Several deposits of architectural-building stone were discovered in Montenegro, and they occur in various geological formations. This paper presents deposits of architectural-building stone, geological characteristics, reserves, quality and potential of architectural and construction stone.

Keywords: architectural-building stone, reserves, quality, potential.

¹dr, naučni saradnik, Zavod za geološka istraživanja Podgorica, bozovic.d@geozavod.co.me

¹ dr, redovni profesor, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

1. UVOD

U geološkoj građi Crne Gore, karbonatne stijene učestvuju sa oko 65%, a predstavljene su, uglavnom, krečnjacima i dolomitičnim krečnjacima, uz značajno prisutvo dolomita. Ove stijene su do sada valorizovane kroz korišćenje u građevinarstvu, uglavnom kao tehničko-građevinski kamen, a znatno manje kao arhitektonsko-građevinski (ukrasni) kamen (Pajović, Radusinović, 2010).

Do sada je u Crnoj Gori otkriveno 20 ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena sa rezervama od ekonomskog značaja, kao i više pojava ove mineralne sirovine, sa utvrđenim bilansnim rezervama i kvalitativnim (fizičko-mehaničkim) karakteristikama, a samo u pojedinim se vrši ili se vršila proizvodnja blokova arhitektonsko-građevinskog kamena.

Sva ležišta su sedimentnog porijekla, a njihov nastanak i način pojavljivanja prvenstveno je zavisano od litofacijalne i strukturne kontrole razmještaja pojedinih geoloških formacija u prostoru i vremenu. Zastupljena su u svim regionima Crne Gore, i javljaju se u okviru trijaskih, jurskih i krednih geoloških formacija, kao i u okviru različitih geotektonskih jedinica. Ležišta ukrasnog kamena u Crnoj Gori su karbonatnog sastava, odnosno pripadaju krečnjacima, krečnjačkim brečama, dolomitičnim krečnjacima i dolomitima.

Imajući u vidu geološku građu Crne Gore, broj ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena mogao bi biti znatno veći. U posljednje vrijeme, stalan je trend povećanja interesovanja investitora za dobijanje koncesije za istraživanje i eksploataciju arhitektonsko-građevinskog kamena, posebno u centralnom dijelu Crne Gore. To je i osnovni razlog da su ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena koja su trenutno u eksploataciji najviše raspoređena na ovom području, kao dijelu koji se najviše razvija i gradi i ima povećanu potrebu za ovom mineralnom sirovinom. Pored navedenog na povećanje interesovanja utiče razvoj privatnog preduzetništva u oblasti građevinarstva i nastojanje ozbiljnih privrednih društava koja se bave eksploatacijom blokova ukrasnog kamena da obezbijede sopstvenu sirovinsku bazu.

Arhitektonsko-građevinski kamen ili ukrasni kamen se koristi u dekorativne svrhe, za čiju namjenu su od primarnog značaja njegova estetska svojstva, koja se ističu odgovarajućom obradom. Pored estetskih, arhitektonsko-građevinski (ukrasni) kamen mora da posjeduje i neophodne fizičko-mehaničke i tehničke osobine, povoljan hemijski sastav, kao i zadovoljavajuću postojanost za datu namjenu.

Rezerve arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori, dokazane su u 20 ležišta, od kojih se samo šest trenutno nalazi u eksploataciji i sva se nalaze u centralnom dijelu Crne Gore.

2. GEOGRAFSKI PRIKAZ

Na području Crne Gore do sada, istraživano je više lokaliteta arhitektonsko-građevinskog kamena, a u današnje vrijeme su ovjerene rezerve za 20 ležišta. Ležišta i pojave arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena, uključujući bigar i bokit kao specifične tipove arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena, zastupljena su u južnom (primorskom), centralnom i manjim dijelom u sjevernom dijelu Crne Gore (slika 1).



Slika 1: Pregledna geografska karta Crne Gore sa ucrtanim ležištima arhitektonsko-građevinskog kamena

Najveća koncentracija ležišta arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena, kao i krečnjačkih masa podobnih za proizvodnju komercijalnih blokova, je u centralnom dijelu Crne Gore, u okviru rudnog rejona Bjelopavlića (područje Danilovgrada i Spuža). U okviru karbonatnih sedimenata oboda Bjelopavličke ravnice i uzvišenja koja se izdižu iz same ravnice, otkriveno je deset ležišta arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena i to: Visočica, Maljat, Klikovače, Vinići, Radujev krš, Suk, Slatina (Kriva ploča), Jovanovići, Đeđezi i Dolovi - Komani, kao i više pojava ove mineralne sirovine: Lalevići, Pješivački do i dr. (Božović, Simić, 2015). Sva ležišta gravitiraju prema Danilovgradu gdje je i centar za obradu kamena. Takođe, na ovom području su i u prethodnom periodu bili najveći centri eksploatacije arhitektonsko-građevinskog kamena.

U centralnom dijelu Crne Gore, na području Cetinja nalazi se ležište arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena Brankov krš, dok se u neposrednoj blizini Grahova nalazi ležište Tospude (Cuce) koje takođe, administrativno pripada opštini Cetinje. Na području opštine Bar, na istočnom obodu Crmničkog polja, u neposrednoj blizini Virpazara nalazi se i ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Bujaci. Na širem području opštine Nikšić otkrivena su dva ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena: Lipova ravan i Tijesna vala.

Drugo, po značaju, područje sa dokazanim ležištima ukrasnog kamena je primorski dio Crne Gore. Karbonatni kompleks naslaga Jadranske karbonatne platforme u Crnoj Gori, kao nosilac značajnih ležišta i pojava ukrasnog kamena, zastupljen je duž priobalnog pojasa i izgrađuje terene jugozapadnog oboda Sutorinskog polja, Luštice i Grblja, kao i terene između Bara, Ulcinja i rijeke Bojane. Na Crnogorskom primorju su otkrivena tri ležišta arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena, u okolini Ulcinja ležišta Krute i Vukići i na području Grblja ležište Lješevići-Vranovići.

U sjevernom dijelu Crne Gore zastupljena su samo dva ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena sa dokazanim bilansnim rezervama i utvrđenim kvalitativnim karakteristikama i to: Gradina u blizini Kolašina i Žoljevica kod Andrijevice.

Poseban tip arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori su "bokiti", koji se javljaju u okviru Budva zone Crnogorskog primorja. U okviru Budva zone, na osnovu jasno izražene strukturne i litofacijalne kontrole razmjestaja ležišta, izdvojena su rudna polja crvenog i sivog varijeteta "bokita": Kamenari, Repaji, Ploče, Kneževići, Podmaine i Čanj i sivog varijeteta: Gornji Morinj - Žlijebi, G. Stoliv - Rt Verige.

Kao specifičan tip arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena javlja se bigar. Najznačajnija ležišta bigra su konstatovana u sjevernom dijelu Crne Gore, na teritoriji opštine Šavnik: ležište Tavani (Podmalinsko) i pojava Zukva, kao i na teritoriji opštine Bijelo Polje: ležište Gornja Lijeska.

Na osnovu rezultata višegodišnjih geoloških istraživanja, a imajući u vidu geološku građu Crne Gore, odnosno činjenicu da je dvije trećine teritorije izgrađeno od karbonatnih stijena, može se konstatovati da je Crna Gora bogata arhitektonsko-građevinskim kamenom. Brojne vrste kamena u Crnoj Gori su naše primjenu u

Crnoj Gori su našle primjenu u dekorativne svrhe u arhitekturi i građevinarstvu, za izradu spomenika, sakralnih objekata, proizvodnji galanterije i dr. Međutim, i pored toga, gledano sa aspekta potencijalnosti, stepen istraženosti arhitektonsko-građevinskog kamena je relativno nizak.

3. GEOLOŠKA GRAĐA LEŽIŠTA I POJAVA ARHITEKTONSKO- GRAĐEVINSKOG KAMENA U CRNOJ GORI

Ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori su karbonatnog sastava, odnosno pripadaju krečnjacima, krečnjačkim brečama, dolomitnim krečnjacima i dolomitima. Javljaju se u okviru trijaskih, jurskih i krednih geoloških formacija, kao i u okviru različitih geotektonskih jedinica (Božović i dr., 2018).

Ležišta trijasko starosti

Na teritoriji Crne Gore, u okviru trijasko geološke formacije, zastupljena su samo tri ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena sa dokazanim bilansnim rezervama i utvrđenim kvalitativnim karakteristikama i to: ležište Bujaci kod Virpazara, ležišta Gradina u blizini Kolašina i Žoljevica kod Andrijevice.

Ležište Bujaci izgrađuju sedimenti donjotrijasko starosti predstavljeni uglavnom masivnim sitnozrnim brečama i podređeno bankovitim pjeskovitim krečnjacima.

Ležišta Gradina i Žoljevica se nalaze u okviru Durmitorske tektonske jedinice. U geološkoj građi ležišta Gradina učestvuju slojeviti, bankoviti i masivni, brečasti krečnjaci (donji verfen-donji anizik), bjeličasto-sive i sive boje, dok su u ležištu Žoljevica prisutni masivni, sivi i bijeli, mermerasti krečnjaci srednjeg trijasa.

Ležišta jurske starosti

U okviru geotektonske jedinice Visokog krša, na širem području Nikšića, otkrivena su dva ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena: Lipova ravan i Tijesna vala, koja su genetski vezana za amonitske krečnjake donje jure - lijasa, odnosno formaciju ammonitico rosso.

Sedimenti koji izgrađuju ova ležišta predstavljeni su najčešće pločastim i slojevitim, ređe debeloslojevitim i bankovitim krečnjacima različitih varijeteta po boji i strukturnom sklopu. Krečnjaci su najčešće bež, rumeno-crvene, mrko-crvene i crvene boje, sa brojnim fosilnim ostacima brahiopodima, pelaškim foraminiferama i amonitima, koji ovom kamenu daju izuzetan dekorativni oblik.

U okviru jurske formacije nalazi se i ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Tospude kod Grahova. Predstavljeni su svijetlosmeđim do smeđm, debelo slojevitim, bankovitim i masivnim krečnjacima donje jure - lijasa (J1), koji su mjestimično prekrystalisali i slabo dolomitisani.

Ležišta kredne starosti

Najveći broj ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori nalazi se u okviru gornjokrednih karbonatnih sedimenata, gdje se po perspektivnosti

i produktivnosti izdvajaju gornjokredni sedimenti zone Visokog krša (rudni rejon Bjelopavlića) i Jadransko-jonske zone (primorski dio).

U okviru formacije rudistnih krečnjaka gornje krede (senona) oboda Bjelopavličke ravnice i uzvišenja koja se izdižu iz same ravnice, odnosno rudnog rejona Bjelopavlića, otkriveno je deset ležišta arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena, sa dokazanim bilansnim geološkim rezervama i kvalitativnim karakteristikama za njihovu primjenu kao arhitektonsko-građevinski kamen. Na ovom području konstatovano je i više pojava arhitektonsko-građevinskog kamena od kojih su najznačajnija Pješivački do i Lalevići. Sva ležišta gravitiraju prema Danilovgradu gdje je i centar za obradu kamena. Pojedina ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena su ujedno i ležišta tehničko-građevinskog kamena (Maljat i Visočica), koja dio stijenske mase koji ostaje prilikom eksploatacije arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena koriste za proizvodnju tehničko-građevinskog kamena, odnosno agregata različitih frakcija.

Rudonosna formacija gornjokredni plitkomorski karbonati unutrašnjeg dijela karbonatne platforme predstavlja glavnu rudonosnu formaciju karbonatnih sedimenata u okviru rudnog rejona Bjelopavlića (Božović, 2016). Ova formacija je od ranije poznata kao nosilac rezervi kvalitetnih karbonatnih sirovina, u prvom redu arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena. U okviru ove rudonosne formacije, utvrđena su sva najznačajnija ležišta ukasnog kamena na području rudnog rejona Bjelopavlića: Klikovače, Suk, Slatina (Kriva Ploča), Maljat, Vinići, Radujev krš i Visočica, u kojima se u manjoj ili većoj mjeri vrši ili se vršila eksploatacija arhitektonsko-građevinskog kamena, kao i manji broj pojava na kojima su vršena geološka istraživanja, ali nisu u eksploataciji: Lalevići i Pješivački do. U okviru ovog rudnog rejona je otkriveno nekoliko različitih formacionih tipova ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena iz kojih se godinama eksploatišu ili su se eksploatisali svjetski poznati varijeteti ukasnog kamena ("unito", "fiorito", "viso", "vinići", "suk", "izvor", "slatina").

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Klikovače nalazi se na karstnom platou Buržine, u blizini istoimenog mjesta, na oko 2 km jugozapadno od Spuža. U geološkoj građi ležišta učestvuju karbonatni sedimenti gornje krede, odnosno santon-kampana. Predstavljani su bankovitim i masivnim krečnjacima sa cijelim i fragmentiranim ljušturama rudista - varijetet "fiorito", i krečnjacima sa rijetkim fragmentima ljuštura ili bez njih - varijetet "unito". Boja krečnjaka varira od svijetlosmeđe (krem) do tamnosmeđe, a uslovljena je prisustvom gvožđevitog pigmenta. Učešće krečnjaka tipa "fiorito" u ukupnoj stijenskoj masi u ležištu iznosi 49,4%, a krečnjaka tipa "unito" 50,6%.

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Suk nalazi se na karstnom platou Komunice, oko 4 km jugozapadno od Spuža, neposredno pored magistralnog puta Podgorica - Nikšić. U geološkoj građi ovog ležišta učestvuju foraminifersko-algalni packstone (P) sa rijetkim bioklastima (varijetet "Izvor"), bioklastične aloheme stijene sa mikritskim vezivom (varijetet "Suk") i ljujpasto raspadnuti krečnjaci santon-kampana ($K_2^{4,5}$).

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Slatina - Kriva ploča nalazi se na oko 5 km sjeverno od Danilovgrada, a oko 3 km od lokalnog asfaltnog puta Danilovgrad-Spuž, u pravcu Slatine. U geološkoj građi ležišta učestvuju uglavnom bjeličasti, ređe svijetlosmeđi, masivni, organogeno detritični krečnjaci gornjeg santona i donjeg kampana (K24,5). Sadrže krupne komade ljuštura fosila (bioklasti rudista), veličine i do nekoliko centimetara, kao i ređe intraklaste.

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Maljat nalazi se na istoimenom brdu, koje se izdiže iz Bjelopavličke ravnice, na oko 9 km jugoistočno od Danilovgrada, odnosno oko 1 km sjeverozapadno od Spuža. Ležište izgrađuju bijeli i svijetlosmeđi, bankoviti i debelo bankoviti krečnjaci kampanske starosti (K25). Sadrže mnoštvo zaobljenih, okruglih i eliptičnih bioklasta fosila (radioliti, rekvijenije i dr.). Petrografskim ispitivanjima utvrđeno je da se radi o krečnjacima organogenog porijekla, organogeno-detritične strukture i masivne teksture.

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Vinići nalazi se u ataru istoimenog sela, na jugoistočnim padinama brda Hum, na oko 8 km sjeverno od Danilovgrada, sa kojim je povezano lokalnim asfaltnim putem. Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena u Vinićima izgrađuju bijeli, žutobjeličasti, bankoviti i masivni, bioklastični, organogeno-detritični krečnjaci gornjokrede, odnosno kampana (K25).

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Radujev krš nalazi se u ataru sela Vinići, na južnim padinama brda Hum, na oko 7 km sjeverno od Danilovgrada. U geološkoj građi ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena Radujev krš učestvuju gornjokredni sedimenti kampana (K25). Predstavljani su bjeličastim do svijetlo smeđim, kristalastim, bankovitim i slojevitim krečnjacima sa brojnim bioklastima rudista.

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Visočica nalazi se u opštini Danilovgrad, u blizini Spuža, na lijevoj strani rijeke Zete. Najveći dio ležišta Visočica izgrađuju bijeli, kristalasti, masivni, krečnjaci tipa rudstone (Ru) i floatstone (Fl) koji u stratigrafskom pogledu pripadaju mastrihtu (K26). To su masivni i debelobankoviti bijeli krečnjaci izgrađeni od krupnih uglastih do subuglastih intraklasta prečnika od nekoliko mm do 2 cm. Krečnjaci su veoma čisti, jednolikog izgleda, jedri i nepravilnog preloma, u kojima se javljaju očuvane ljuštore različitih fosila (rudista i akteonela).

Na području rudnog rejonu Bjelopavlića, osim plitkovodnih sedimentata koji imaju dominantno rasprostranjenje u manjoj mjeri javljaju se i dubokovodni karbonati koji su genetski vezani za rudonosnu formaciju gornjokredni dubokovodni karbonati, odnosno koji se javljaju u okviru rudne formacije gornjokredni pelaški karbonati (Božović, 2016 i Božović, Simić, 2023). Karbonatne naslage ove rudonosne formacije predstavljene su debelobankovitim i uglavnom masivnim krečnjacima, tipa mikrita i biomikrita sa sitnim biogenim ostacima, odnosno pelaškim i hemipelaškim česticama (formacioni tip gornjokredni pelaški karbonati). U okviru rudnog rejonu Bjelopavlića otkrivena su dva ležišta/pojave karbonatnih sirovina, čija je geneza vezana za ove sredine stvaranja i to: ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Jovanovići i pojava Lalevići.

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Jovanovići nalazi se oko 6 km sjeverno od Danilovgrada, sa kojim je povezano lokalnim asfaltnim putem, manastir Ždrebaonik - manastir Ostrog. Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena izgrađuju kompaktni, bankoviti do masivni, smeđi, svijetlosmeđi do žućkasti krečnjaci, uglavnom strukturnog tipa mudstone (M) i mudstone - wackestone (M - W), rijetko wackestone (W), sa izraženim stilolitima crne i rumenkaste boje, odnosno krečnjaci tipa mikrita, koji su prekinuli plitkomorski režim sedimentacije na ovom području. U njima su rasute skeletne čestice, i to su uglavnom pelaške i hemipelaške čestice koji ukazuju na dubokovodni režim sedimentacije, a u stratigrafskom pogledu pripadaju kampanu (K_2^5).

Drugo, po značaju, područje sa dokazanim ležištima ukrasnog kamena gornjokredne starosti je primorski dio Crne Gore. Karbonatni kompleks naslaga Jadranske karbonatne platforme u Crnoj Gori, kao nosilac značajnih ležišta i pojava ukrasnog kamena, zastupljen je duž priobalnog pojasa i izgrađuje terene jugozapadnog oboda Sutorinskog polja, Luštica i Grblja, kao i terene između Bara, Ulcinja i Bojane. U okviru Jadransko-jonske zone Crne Gore se godinama vršila eksploatacija blokova ukrasnog građevinskog kamena na tri ležišta, koja su genetski usko vezana za ovu rudonosnu formaciju, odnosno čija se geneza odvijala u uslovima plitkomarinskog područja Jadranske karbonatne platforme (ležišta ukrasnog građevinskog kamena "Vukići" i "Krate" kod Ulcinja, kao i ležište "Lješevići – Vranovići" u Grblju između Budve i Tivta).

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Vukići otkriveno je u okviru rudne formacije gornjokrednih tektonogenih karbonatnih klastita sa stilolitima. Iz ovog ležišta su u prethodnom period eksploataciji brečizirani krečnjaci i krečnjačke breče rudne subformacije ukrasnog građevinskog kamena tipa "Vukići". Nalazi na južnim padinama Rumije, u području istoimenog mjesta, u neposrednoj blizini asfaltnog puta Bar-Vladimir. Predmetno ležište izgrađuju bankovite i masivne krečnjačke breče sa fragmentima svijetlo mrke do krem boje i crvenkastim do svijetlo mrkim vezivom koje u stratigrafskom pogledu pripadaju gornjoj kredi, odnosno santonkampanu ($K_2^{4,5}$).

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Krute je otkriveno u okviru naslaga rudne subformacije rudistnih bioklastičnih krečnjaka i dolomitisanih krečnjaka kao ukrasnog građevinskog kamena tipa "Krate". Nalazi se u opštini Ulcinj, u neposrednoj blizini lokalnog asfaltnog puta Vladimir-Bar. U geološkoj građi ležišta učestvuju slojeviti i bankoviti krečnjaci, dolomitični krečnjaci, breče i dolomiti gornje krede odnosno mastrihta (K_2^6).

Na sjeverozapadnom području Jadransko-jonske zone, na širem prostoru Luštica i Grblja, u okviru ove rudonosne formacije su zastupljeni i rudistni bioklastični bituminozni kasnodijagenetski dolomiti i dolomitični krečnjaci, kao rudna subformacija ukrasnog građevinskog kamena tipa "Grbalj". U okviru rudne subformacije ukrasnog građevinskog kamena tipa "Grbalj", bilo je aktivno ležište ("Lješevići - Vranovići"), na kojem se godinama vršila organizovana eksploatacija komercijalnih blokova ukrasnog građevinskog kamena, kao i nekoliko pojava

ukrasnog građevinskog kamena.

Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena Lješevići - Vranovići nalazi se na području Grblja, oko 8 km vazdušne linije jugoistočno od Tivta, u neposrednoj blizini asfaltnog puta koji vodi od Jadranske magistrale do uvale Bigovo. U geološkoj građi ležišta učestvuju sedimenti gornje krede, odnosno mastrihta (K26) predstavljeni paketima sedimenata, izgrađenim od pojedinačnih slojeva i banaka dolomita. Debljina rudnog tijela iznosi oko 80-90 m.

U centralnom dijelu Crne Gore, na području Cetinja nalazi se i ležište arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena Brankov krš. U geološkoj građi ovog ležišta učestvuju donjokredni sedimenti (neokom), predstavljeni slojevitim i bankovitim, umjerenosmeđim do sivosmeđim jedrim, detritičnim krečnjacima, mikritske strukture sa ravnim površinama slojevitosti, koje su deformisane brojnim zupčastim stilolitskim šavovima, sa čestim fosilnim ostacima ostrakoda i sitnim bioklastima tankoljušturastih školjki.

U južnom dijelu Crne Gore, u okviru Budva zone na Crnogorskom primorju konstatovan je poseban tip arhitektonsko-građevinskog kamena poznat pod nazivom "bokiti".

Analizom strukturne i litostratigrafske kontrole razmještaja ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena tipa "bokiti", u okviru gepotektonske jedinice Budva zone, izdvojeni su rudni rejoni: 1. Lastva-Kamenari-Devesilje, 2. Vrmac-Gornji Morinj i 3. Budva-Petrovac-Čanj. U okviru rudnih rejona izdvojena su rudna polja sa jasno vidljivim tragovima rudarenja na "bokit". Najznačajnija su rudna polja crvenog i sivog varijeteta "bokita": Kamenari Repaji, Ploče, Kneževići, Podmaine i Čanj, i sivog varijeteta: Gornji Morinj-Žlijebi, G. Stoliv-Rt Verige. Najnovijim istraživanjima perspektivnih rudnih polja dokazane su rezerve stijenske mase "bokita" od 9 747 000 m³. Ovaj stepen istraženosti predstavlja dobru osnovu za izvođenje detaljnih geoloških istraživanja ležišta "bokita".

Ležišta i pojave "bokita" vezane su za globotrunkanske krečnjake kampana (K25) i mastrihta (K26), pretežno mikrite (mudstone, nešto ređe wackestone i packestone) Scalia formacije (Čepić, Božović 2005). Nastali su u uslovima mirne pelaške sedimentacije predstavljeni su crvenim i sivim tankoslojevitim, ređe pločastim i slojevitim krečnjacima, sa ravnim površinama slojevitosti, koje su često deformisane stilolitskim šavovima. Raznobojni su, ali najčešće crveni (blijedo, svijetlo, sivo, srednje i zagasito crveni) i sivi (žuto, maslinasto, srednje, svijetlo i srednje svijetlosivi).

Bigar je specifična vrsta arhitektonsko-građevinskog kamena koji nastaje u koritima rijeka, u blizini vodopada i slapova. Geneza naslaga bigra uopšteno za sva ležišta u Crnoj Gori specifična je i vezana za slapove i vodopade, pri čemu raspršena voda pada na okolne biljke, koje za svoje potrebe apsorbuju CO₂ iz vode, tako da dolazi do izlučivanja kalcijum-karbonata, koji inkrustrira biljke. Izumiranjem biljaka raspada se njihovo meko tkivo, a ostaje šupljikava kalcitska masa koja obrazuje bigar. Najznačajnija ležišta bigra su konstatovana u sjevernom dijelu Crne Gore (Korać i dr., 2018). Na teritoriji opštine Šavnik to je ležište Tavani (Podmalinsko) i pojava

Zukva. Na teritoriji opštine Bijelo Polje nalazi se ležište bigra Gornja Lijeska. Sva navedena ležišta bigra su kvartarne starosti.

Ležište Tavani (Podmalinsko) se nalazi u kanjonu rijeke Bukovice, između Šavnika i Boana, u neposrednoj blizini Manastira Podmalinsko. Bigar iz ovog ležišta je krem boje sa različitim stepeno šupljikavosti: krupnošupljikavi, srednješupljikavi (šupljine do 1 cm) i sitnošupljikavi (šupljine mm dimenzija). U blizini ležišta Tavani, na desnoj strani kanjona rijeke Bistrice nalazi se pojava bigra Zukva. Naslage bigra na ovom lokalitetu deponovane su dijelom na anizijske krečnjake, a dijelom na srednjotrijaskim vulkanitima.

Ležište bigra Gornja Lijeska nalazi se na teritoriji opštine Bijelo Polje, u koriti rijeke Lještanice, oko 2,5 km od Tomaševa. Direktnu podinu naslagama bigra u ovom ležištu čine srednjotrijaski bankoviti i masivni krečnjaci anizika, a mjestimično i dolomitični krečnjaci i dolomiti. U pripovršinskom dijelu preovlađuje šupljikavi žuti bigar sunderaste strukture. Osim kompaktnog bigra zapaža se i prisustvo rastresitog bigrovitog materijala, kao i bigroviti pijesak.

4. REZERVE I KVALITET ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA

4.1. REZERVE ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA

Ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena su otkrivena kako u južnom (primorskom), tako i u centralnom i sjevernom dijelu Crne Gore. Ukupno je registrovana 20 (dvadeset) ležišta sa dokazanim bilansim rezervama stijenske mase A+B+C₁ kategorije u iznosu od 17 144 648 m³. Od toga rezervama A kategorije pripada 2 606 826 m³, rezervama B kategorije 7 345 375 m³, a rezervama C₁ kategorije 7 192 447 m³.

Ukupne rezerve blok mase uzimajući iskorišćenje koje se kreće od 15 % do 31 % iznose 2 786 253 m³. Za pojedina ležišta kao što su Bujaci, Slatina, Lipova ravan i Žoljevica nedostaju podaci o iskorišćenje stijenske u blok masu.

Procentualna zastupljenost pojedinih kategorija rezervi u ukupnim rezervama ukazuje na relativno nizak stepen istraženosti, jer je učešće A kategorije rezervi najmanje i iznosi 15,20 %, dok je učešće B i C₁ kategorije rezerve slično i za B kategoriju iznosi 42,80% dok za rezerve C₁ kategorije iznosi 42,0%.

U tabeli 1 prikazane su bilansne rezerve stijenske i blok mase po ležištima arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori.

Tabela 1: Bilansne rezerve stijenske i blok mase ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena

Ležište	Stijenska masa (m ³)				Blok masa (m ³)	
	Kategorija				Iskorišćenje (%)	Blok masa (m ³)
	A	B	CI	A+B+CI		
1. Krute	285 801,87	218 511,47	-	504 313,34	21,50	108 427,40
2. Vukići	29 532,00	12 753,00	25 477,00	67 762,00	31,00	21 006,22
3. Lješevići	108 438,00	71 565,00	112 432,00	292 435,00	21,55	63 019,74
4. Brankov krš	71 109,00	195 511,00	82 100,00	348 720,00	15,00	52 308,00
5. Tospude	56 660,00	591.919,21	276.110,12	852 689,20	15,00	127 903,38
6. Bujaci	-	44 100,00	21 600,00	65 700,00	-	-
8. Dolovi-Komani	145 571,00	706 958,00	16 705,00	869 234,00	15,00	130 385,10
9. Đedezi	-	33 363,00	268 816,00	302 179,00	30,00	90 653,70
9. Suk	202 000,00	306 000,00	434 000,00	942 000,00	16,20	152 604,00
10. Klikovače	185 130,00	524 790,00	518 580,00	1 228 500,00	25,00	307 125,00
11. Visočica		862 274,00	-	862 274,00	22,00	672 574,00
12. Maljat	286 554,00	587 860,00	911 211,00	1 785 625,00	19,0	339 268,00
13. Slatina	-	233 557,00	291 497,00	525 054,00	-	-
14. Jovanovići	166 030,00	711 393,00	-	877 423,00	15,00	111 872,00
15. Vinići	348 000,00	347 000,00	645 000,00	1 340 000	15,00	201 000,00
16. Radujev Krš	-	9 490,00	34 333,00	43 823,00	16,00	7 011,68
17. Lipova ravan	-	-	1 975 000	1 975 000,00	-	-
18. Tijesna vala	-	35 242,00	72 336,00	107 578,00	25,00	26 894,50
19. Gradina	722 000,00	585 000,00	564 000,00	1 871 000,00	20,00	374 200,00
20. Žoljevica	-	1 34 088,00	943 250,00	2 283 338,00	-	-
UKUPNO:	2 606 826	7 345 375	7 192 447	17 144 648		2 786 253

Najnovijim istraživanjima perspektivnih rudnih polja dokazane su rezerve stijenske mase “bokita“ od 9 747 000 m³. Ekonomski najznačajnija su ležišta crvenog i sivog “bokita”: Kamenari, Ploče (Gornja Lastva) i Čanj, kao i ležište sivog varijeteta Žlijebi.

Tabela 2: Rezerve ležišta i rudnih polja arhitektonsko-građevinskog kamena - "bokita"

Ležište	Kategorija rezervi (000 m ³)					
	Rezerve ležišta				Rezerve rudnih polja	
	B	C ₁	B+C ₁	B+C ₁ +C ₂	D ₁	B+C ₁ +C ₂ +D ₂
1. Kamenari		3 000	3 000	1 500	6 850	11 350
2. Repaji		1 320	1 320	660	6 820	8 800
3. Ploče	168	547	715	500	5 400	6 615
4. G. Stoliv-Rt Verige		500	500	250	250	1 000
5. G. Morinj-Žlijebi		750	750	375	1 375	2 500
6. Kneževići		750	750	375	1 375	2 500
7. Podmaine		630	630	315	1 155	2 100
8. Čanj		2 250	2 250	1 125	1 875	5 250
UKUPNO:	168	9 747	9 915	5 100	25 100	40 115

Ovaj stepen istraženosti predstavlja dobru osnovu za izvođenje detaljnih geoloških istraživanja ležišta "bokita". Do sada su samo na jednom ležištu bokita "Dubovica" kod Čanja izvedena detaljna geološka istraživanja i utvrđene rezerve i kvalitet bokita. Dokazane geološke rezerve bokita B+C₁ kategorije u ležištu "Dubovica" kod Čanja iznose 1 038 057 m³, a eksploatacione rezerve iznose 604 869 m³.

Dosadašnjim geološkim istraživanjima na teritoriji Crne Gore rezerve bigra A+B+C₁ kategorije su dokazane samo na jednom ležištu Tavani – Podmalinsko kod Šavnika. Ukupne rezerve stijenske mase iznose 275 000 m³, dok su rezerve blokova 116 000 m³ (Gomilanović i dr, 1999).

Tabela 3: Bilansne rezerve stijenske i blok mase ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena - "bigra" u ležištu Tavani - Podmalinsko

Ležište	Kategorija rezervi	Rezerve (m ³)	
		Stijenske mase	blokova
TAVANI PODMALINSKO	A	157 000	66 000
	B	88 000	37 000
	C1	30 000	13 000
	UKUPNO	275 000	116 000

Proračunate perspektivne rezerve C₂ kategorije u ležištu Tavani - Podmalinsko iznose oko 13 000 m³. Perspektivne rezerve C₂ kategorije u ležištu Gornja Lijeska iznose oko 150 000 m³, dok su perspektivne rezerve na lokalitetu Zukva oko 300 000 m³.

4.2. KVALITET ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA

Najznačajnije fizičko-mehaničke karakteristike za arhitektonsko-građevinski su: pritisna čvrstoća (u suvom stanju, vodozasićenom stanju i poslije 25 ciklusa smrzavanja), savojna čvrstoća, otpornost na habanje, poroznost, upijanje vode, postojanost na mraz i toplotno širenje. Osim toga, svojstva stijena koja najviše utiču na fizičko-mehanička svojstva kamena su: mineralni sastav i karakteristike minerala, sklop (prostorni raspored minerala, njihov oblik i dimenzije), stepen prorastanja zrna, stepen alterisanosti odnosno svežina stijene, defekti u mineralnim zrnima i samoj steni, poroznost. Varijacije petroloških svojstava stene dovode do varijacija u fizičko-mehaničkim svojstvima građevinskog kamena.

Osnovni kriterijumi za određivanje načina primjene arhitektonsko-građevinskog kamena nisu standardizovani, ali su opšte prihvaćeni, i to su pored fizičko-mehaničkih karakteristika: opšti izgled i estetska vrijednost, sredina u koju se može upotrebljavati (eksterijer ili enterijer) i otpornost na atmosferlije i aerozagađenje.

Vrijednosti čvrstoće na pritisak u suvom stanju kreću se od 92,70 MPa, u ležištu Lješevići Vranovići do 213,50 MPa za ležište Bujaci. Vrijednost čvrstoće na pritisak u vodozasićenom stanju varira od 78,40 MPa u ležištu Radujev krš (najniža vrijednost) do 190 MPa u krečnjacima ležišta Bujaci, odnosno vrijednosti čvrstoće na pritisak poslije 25 ciklusa smrzavanja od 67 MPa (ležište Radujev krš) do 188 MPa (ležište Gradina). Samo za krečnjake ležišta Radujev krš čvrstoće na pritisak u vodozasićenom stanju i poslije 25 ciklusa smrzavanja su manje od 80 MPa i spadaju u kategoriju niskih čvrstoća (40,0 - 80,0 MPa).

Srednja vrijednost čvrstoće na savijanje arhitektonsko-građevinskog kamena iz pojedinih ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena varira od 6,57 MPa u ležištu Vinići do 18,35 MPa u ležištu Suk, i nalazi se u granicama prosječnih vrijednosti za ovu vrstu stijena. Čvrstoća na savijanje u najvećem broju slučajeva je u granicama od 7 do 20 % od čvrstoće na pritisak istog kamena, a najčešće vrijednosti su od 0,5 do 25,0 MPa.

Srednja vrijednost habajuće tvrdoće kamena utvrđena postupkom struganja varira od 12,96 cm³/50 cm² (ležište Tijesna Vala) do 31,58 cm³/50 cm² u ležištu Visočica. Na osnovu ovih vrijednosti krečnjak iz ovih ležišta se može svrstati u grupu tvrdih stijena sa vrijednostima habajuće tvrdoće 10-20 cm³/50 cm²; (krečnjaci ležišta Vukići, Lješevići-Gajevi, Brankov krš, Tospude, Dolovi-Komani, Klikovače, Maljat, Vinići, Radujev krš i Lipova ravan) i mekih stijena čija vrijednost prelazi 30 cm³/50 cm² (ležište Visočica). Vrijednost ovog pokazatelja se nalazi u granicama prosječnih vrijednosti za karbonate (krečnjake i dolomite).

Upijanje vode je na nivou srednjih vrijednosti kada je u pitanju krečnjak. Vrijednosti ovog parametra je od 0,07 % za krečnjake ležišta Bujaci do 2,25 % krečnjake ležišta Radujev krš i svrstava ih u kategoriju sa vrlo malim upijanjem vode (ispod 0,5%), malim upijanjem vode, odnosno sa vrijednostima upijanja vode (0,5-1,0%) i umjerenim upijanjem vode (1,0-2,5 %), što se direktno odražava na otpornost prema mrazu. Ispitivanjem ovog svojstva konstatovano je da su svi

krečnjaci otporni na smrzavanje. Karbonatni sedimenti iz tri ležišta (Đeđezi, Suk, Radujev krš) se odlikuje umjerenim upijanjem vode, dok se karbonati iz drugih ležišta odlikuje vrlo malim i malim upijanjem vode.

Obzirom na iskazane vrijednosti poroznosti, kamen ležišta Tospude, Dolovi-Komani, Bujaci, Đeđezi, Jovanovići, Gradina i Žoljevica pripadaju grupi kompaktnih krečnjaka sa vrijednošću poroziteta ispod 1 %, dok krečnjaci ležišta i/ili pojava Brankov krš, Klikovače, Slatina i Radujev krš, pripadaju grupi slabo poroznih (vrijednost poroznosti 1,0-2,5 %), odnosno grupi umjereno poroznih sa vrijednošću poroziteta od 2,5 do 5,0 %, gdje spadaju krečnjaci ležišta Vukići, Krute, Lješevići - Vranovići, Suk, Visočica, Maljat i Vinići.

Mogućnost eksploatacije, obrade i primjene arhitektonsko-građevinskog kamena iz pojedinih ležišta sa područja Crne Gore dokazane su višegodišnjom eksploatacijom kamenih blokova. Koeficijent iskorišćenja u ovim ležištima se kretao od 15 % u ležištima Brankov krš, Dolovi, Tospude i Vinići, do 31 % u ležištu Vukići.

Na ležištima arhitektonsko-građevinskog kamena Bobik, Bujaci, Đeđezi, Suk, Slatina, Lipova ravan i Gradina do sada nije vršena eksploatacija kamenih blokova, ali su u sklopu geoloških istraživanja na ovim ležištima izvedeni između ostalog i probno-eksploataciona etaža i istražni zasjeci. Ovi radovi su bili malih dimenzija, tako da se nije mogla dobiti vjerodostojna predstava o ekonomskoj vrijednosti ležišta. Na osnovu probnog rezanja blokova kamena na ploče različitih dimenzija, utvrđeno je da se kamen dobro reže i obrađuje, dok je poliranjem istih utvrđeno da se lako i dobro poliraju, pri čemu se dobija srednje do visoki sjaj.

Na osnovu analiziranih rezultata, saglasno utvrđenim svojstvima i odredbama standarda, kamen odnosno krečnjak i dolomit sa teritorije Crne Gore može se upotrijebiti - valorizovati u arhitektonsko-građevinske svrhe uglavnom za proizvodnju ploča za unutrašnja oblaganja horizontalnih površina sa umjerenim do intezivnim pješačkim saobraćajem (UH-2 i UH-3), proizvodnju ploča za unutrašnja oblaganja vertikalnih površina, (UV), proizvodnju ploča za spoljašnja oblaganja vertikalnih površina objekata visine do 10 m (SV-3), izuzetno od 10 do 30 m (SV-2) i objekta visine preko 30 m (SV-1), kao i proizvodnju galanterije, ivičnjaka i drugih elemenata u građevinarstvu.

Samo krečnjaci iz pojedinih ležišta mogu se koristiti za proizvodnju ploča za oblaganje spoljašnjih horizontalnih površina gdje se obavlja umjereni pješački saobraćaj (SH-3) ili izuzetno za proizvodnju ploča za oblaganje spoljašnjih horizontalnih površina gdje se obavlja intezivan pješački saobraćaj (SH-2).

Što se tiče dekorativnosti kamena, kao pokazatelja opšteg izgleda i estetskih vrijednosti koji iz njega proističu, može se konstatovati da kamen iz ovih ležišta pripada grupi dekorativnih po boji i šari. Pojedine vrste kamena su već odavno dobro poznate tržištu arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori i inostranstvu.

Zbog svojih prirodnih karakteristika bokit ima široku primjenu u građevinarstvu. Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja može se zaključiti da su fizičko-mehaničke osobine kamena sa manjim izuzecima u cjelini povoljne i da pružaju široke mogućnosti primjene ovog tipa kamena u građevinarstvu i arhitekturi,

prvenstveno za: a) proizvodnju ploča prirodnog kamena različitih debljina (2-15 cm) za horizontalna i vertikalna oblaganja sa armirano-betonskom konstrukcijom, b) proizvodnju prirodnih ploča za popločavanje parkova i šetališta i c) zavisno od debljine slojeva, mogućnost proizvodnje rezanih ploča ukrasnog kamena sa različitim vidovima finalne obrade (polirano, štokovano, špicovano) i druge slične namjene uz nesporna dekorativna svojstva.

Fizičko-mehanička svojstva bigra u prirodnom stanju su veoma slaba u poređenju sa ostalim vrstama arhitektonsko-građevinskog kamena, što je i uobičajno za ovu vrstu kamena. Međutim, široka upotreba bigra omogućena je prije svega njegovim specifičnim svojstvima pri vađenju i obradi kamena (laka obradivost), odnosno obrađenih blokova i urađenih zidova. U prirodnom stanju u ležištu, sve dok sadrži grubu vlagu bigar se veoma lako siječe i testerise poput drveta. Nakon vađenja blokova bigra iz ležišta, gubi prirodnu vlagu i dobija znatno veću čvrstoću i uopšte ostala fizičko-mehanička svojstva, dok mu se zapreminska masa smanjuje. Zbog toga, svoje šupljikavosti i specifične građe šupljina bigar predstavlja izvanredan toplotni i zvučni izolator. Takođe, dobra osobina bigra je i njegova vremenska postojanost. Sitnošupljikavi i srednješupljikavi bigar može se koristiti za proizvodnju ploča za oblaganje unutrašnjih vertikalnih površina, kao i za proizvodnju blokova za dekorativna zidanja.

5. POTENCIJALNOST ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA U CRNOJ GORI

Prema zvaničnim podacima dokazane bilansne geološke rezerve arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena u Crnoj Gori iznose oko 17 miliona m³, dok su perspektivne rezerve stijenske mase obzirom na geološku građu Crne Gore veoma velike. Po broju do sada registrovanih ležišta i pojava, arhitektonsko-građevinski (ukrasni kamen) je zajedno sa bokitom i bigrom kao specifičnim vrstama ukrasnog kamena, u samom vrhu među mineralnim sirovinama u Crnoj Gori, dok je u pogledu perspektivnosti za pronalaženje novih ležišta ova sirovina vjerovatno na prvom mjestu. Međutim, i pored toga, treba istaći da je stepen korišćenja ovog mineralnog resursa veoma nizak. U šest trenutno aktivnih ležišta pod koncesijom, u kojima se vrši eksploatacija arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena, ukupne bilansne geološke rezerve iznose oko 5,6 miliona m³, odnosno, uz iskorišćenje koje se kreće od 15 do 22 %, nešto više od 1,4 milion m³ blokova ekonomske kategorije.

Poseban tip ukrasnog kamena je "bokit" sa dokazanim rezervama od preko 10 miliona m³, pri čemu su samo na jednom ležištu "Dubovica" kod Čanja vršena detaljna geološka istraživanja. Perspektivne rezerve bokita u izdvojenim rudnim poljima iznose preko 40 miliona m³.

Dokazane rezerve bigra u ležištu "Tavani" kod Šavnika iznose 275 000 m³ stijenske mase, odnosno 116 000 m³ bloka. Perspektivne rezerve bigra C₂ kategorije u tri registrovana ležita u Crnoj Gori iznose 463 000 m³ stijenske mase.

Na osnovu svega prikazanog, za terene Crne Gore može se reći da su perspektivni u pogledu mogućnosti pronalaženja ležišta arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena. Po svojoj perspektivnosti i produktivnosti izdvajaju se sedimenti gornje krede Jadransko-jonske zone i Zone Visokog krša.

Potencijalnost ovih terena sa aspekta arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena, sagledana je na bazi izvršene specijalne formaciono-mineragenetske analize, u čijoj se osnovi nalaze rezultati višegodišnjih osnovnih geoloških istraživanja arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena. U okviru rudnih i perspektivno rudnih formacija Jadransko-jonske zone Crne Gore prepoznato je i preciznije definisano ukupno sedam rudnih subformacija odnosno formacionih tipova arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena među kojima njih četiri imaju karakter perspektivnih. Ukupne perspektivne rezerve blokova i tumbolona arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena izdvojenih formacionih tipova, uzimajući u obzir rasprostranjenje odnosno površinu koju zauzimaju, njihovu prosječnu debljinu i usvojeno iskorišćenje u blok od 20 %, iznose oko 1 090 miliona m³.

Formaciono-mineragenetskom analizom u okviru Dinarske karbonatne platforme na području rudnog rejonu Bjelopavlića, među geološkim formacijama su prepoznate one formacije koje predstavljaju potencijalne nosioce rezervi karbonatnih sirovina, odnosno izdvojene su rudonosne formacije karbonatnih sirovina, a u okviru njih rudne formacije i formacioni tipovi karbonatnih sirovina. Potencijalne rezerve karbonatnih sirovina rudnog rejonu Bjelopavlića su procijenjene na oko 20 000 x 10⁶ m³, dok su potencijalne rezerve blokova arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena izdvojenih sedam formacionih tipova, uzimajući u obzir prosječno iskorišćenje stijenske mase u blok od 19 % oko 3 800 miliona m³.

Značajan potencijal za otkrivanje novih ležišta arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena je i područje zapadne Crne Gore. Dosadašnjim geološkim istraživanjima ovog područja potencijalne rezerve ove mineralne sirovine su procijenjene na preko 300 miliona m³.

Potencijalne rezerve ove mineralne sirovine su veoma velike i u ostalim djelovima Crne Gore u pogledu otkrivanja novih ležišta ukrasnog kamena, što se posebno odnosi na sjever Crne Gore koji u značajnoj mjeri izgrađuju vulkanske i klastične stijene koje do sada u Crnoj Gori nisu ili su veoma malo istraživane sa aspekta mogućnosti njihovog korišćenja u arhitektonsko-građevinske svrhe.

Možemo zaključiti, obzirom na brojnost i različitost formacija sa stijenama pogodnim za proizvodnu arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena u Crnoj Gori potencijali su značajno iznad današnjih proizvodnih kapaciteta.

REZIME

Na osnovu svega prikazanog, može se zaključiti da je Crna Gora bogata različitim vrstama arhitektonsko-građevinskog kamena, uglavnom karbonatnog sastava, koji mogu naći primjenu kako na domaćem, tako i inostranom tržištu. Eko-

nomski značaj ovog prirodnog resursa ogleda se i u raznovrsnosti tipova kamena po boji, strukturi, teksturi, mogućnostima obrade i tehničkim karakteristikama, pa samim tim i velikim mogućnostima njihove primjene, kako je to navedeno u prethodnom dijelu. Ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena raspoređena su na čitavoj teritoriji Crne Gore i u različitim geološkim formacijama, tako da bi se njihovim korišćenjem moglo doprinijeti i ravnomjernijem razvoju Crne Gore.

Valorizacijom arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori, nesumnjivo bi se postigli i značajni ekonomski efekti po privredu Crne Gore. U doglednoj budućnosti ova nemetalna mineralna sirovina mogla bi se, po značaju za privredni razvoj Crne Gore, svrstati među najznačajnije mineralne sirovine uopšte. Takva očekivanja su zasnovana prije svega na nizu povoljnih faktora kao što su: brojnost ležišta i pojava različitih vrsta i varijeteta kamena, razmještaj i lokacije ležišta i pojava arhitektonsko-građevinskog kamena, kratko vrijeme neophodno za izgradnju rudnika, povoljni ekološki faktori, povoljnosti sa nabavkom i održavanjem opreme i drugi faktori.

Na osnovu podataka o eksploataciji arhitektonsko-građevinskog kamena preuzetih od Ministarstva kapitalnih investicija proizvodnja komercijalnih blokova u Crnoj Gori prema zvaničnim podacima u 2022 godini je iznosila je oko 11 000 m³. Uzimajući u obzir prosječne cijene za blokove i tombolone prema podacima Monstata, ukupna vrijednost proizvodnje arhitektonsko-građevinskog kamena u 2017. godini iznosila bi oko 3,3 miliona eura. Povećanjem obima proizvodnje arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena u Crnoj Gori u iznosu od oko 20 000 m³ komercijalnih blokova na godišnjem nivou, ukupna vrijednost proizvodnje iznosila bi oko 6.5 miliona eura.

Na osnovu svega prikazanog može se vidjeti da Crna Gora raspolaže sa značajnim rezervama arhitektonsko-građevinskog kamena koje mogu ispratiti značajno veću proizvodnju ove mineralne sirovine od dosadašnje, kroz čiju vrijednost se može sagledati i ekonomska opravdanost planirane eksploatacije arhitektonsko-građevinskog kamena u Crnoj Gori.

SUMMARY

Based on everything shown, it can be concluded that Montenegro is rich in different types of architectural building stone, mainly carbonate composition, which can be used both on the domestic and foreign markets. The economic importance of this natural resource is also reflected in the variety of stone types in terms of color, structure, texture, processing possibilities and technical characteristics, and thus the great possibilities of their application, as stated in the previous part. Deposits of architectural building stone are distributed throughout the territory of Montenegro and in different geological formations, so their use could contribute to a more even development of Montenegro.

Valorization of architectural-building stone in Montenegro would undoubtedly achieve significant economic effects for the Montenegrin economy. In the foreseeable future, this non-metallic mineral raw material could, in terms of importance for the economic development of Montenegro, be classified among the most important mineral raw materials in general. Such expectations are primarily based on a number of favorable factors such as: the number of deposits and the appearance of different types and varieties of stone, the distribution and location of deposits and the appearance of architectural building stone, the short time necessary for the construction of the mine, favorable environmental factors, advantages with procurement and equipment maintenance and other factors.

Based on the data on the exploitation of architectural-building stone taken from the Ministry of Capital Investments, the production of commercial blocks in Montenegro according to official data in 2022. was about 11 000 m³. Taking into account the average prices for blocks and raffle tickets according to Monstat data, the total value of production of architectural building stone in 2017. would be around 3.3 million euros. By increasing the volume of production of architectural-building (decorative) stone in Montenegro in the amount of about 20,000 m³ of commercial blocks on an annual level, the total value of production would amount to about 6.5 million euros.

On the basis of everything shown, it can be seen that Montenegro has significant reserves of architectural building stone that can support a significantly higher production of this mineral raw material than before, through the value of which the economic justification of the planned exploitation of architectural-building stone in Montenegro can be seen.

LITERATURA

Božović, D., 2016: *Mineragenija i potencijalnost karbonatnih sirovina rudnog reona Bjelopavlića, Crna Gora*. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu. 263 pp.

Božović, D., Radosinović, S., Simić, V. (2018): *Karbonatne mineralne sirovine Crne Gore/Carbonate Mineral Raw Materials of Montenegro*. Zbornik apstrakata sa 17. Kongresa geologa Srbije sa međunarodnim učešćem/Abstract proceedings from 17th Serbian Geological Congress with International Participation, Vrnjačka Banja. Izdavač/Publisher: Srpsko geološko društvo, Beograd/Serbian geological Society, Belgrade, ISBN 978-86-86053-19-0, Prošireni apstrakt, str./pp. 263-268.

Božović, D., Simić, V., 2015: *Ocjena potencijalnosti karbonatnih sirovina na području rudnog rejona Bjelopavlića*. Geološki glasnik, knj. XVI. JU Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, 143-161 str., Podgorica.

Božović, D., Simić, V., 2023: *Ležište Jovanovići-novi formacioni tip arhitektonsko – građevinskog kamena Crne Gore*. Tehnika, knj. LXXVIII. Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 159-164 str.

Čepić M., Božović, D., 2005: *Bokit Crnogorskog primorja*, Zbornik radova sa 14. Kongresa geologa Srbije i Crne Gore sa međunarodnim učešćem, Novi Sad, 2005, str. 611-618. (<https://www.sgd.rs/publikacije/posebna-izdanja>).

Gomilanović, M., 1999: *Mineralne sirovine i rudarska proizvodnja u Crnoj Gori*. Ministarstvo industrije, energetike i rudarstva Republike Crne Gore, 804 str., Podgorica.

Korać, M., Milić, V., Lacman, R., Pajović, M., Radusinović, S., Božović, D. (2018): *Državni plan eksploatacije mineralnih sirovina za period 2019-2029. godine*. Ministarstvo ekonomije, Direktorat za rudarstvo i geološka istraživanja, 74 str., Podgorica.

Pajović M., Radusinović S., 2010: *Mineralne sirovine Crne Gore, Crna Gora u XXI stoljeću u eri kompetitivnosti, životna sredina i održivi razvoj*. Posebna izdanja Crnogorske akademije nauka i umjetnosti, knj. 73, Sv. 2, str. 237-282 Podgorica.

*Dragan S. Radulović¹, Darko Božović², Jovica Stojanović¹, Vladimir Jovanović¹,
Dejan Todorović¹, Branislav Ivošević¹, Sonja Milićević¹*

INVESTIGATION IN ORDER TO DEFINE THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBTAINING FILLERS FOR USE IN VARIOUS INDUSTRIES ON THE BASIS OF LIMESTONE “GLAVATSKE KUĆE”-KOTOR

Abstract

This paper presents results of investigations of the possibility of using “Glavatske Kuće”-Kotor limestone (Montenegro) as filler in various industry branches. Micronization methods, granulometric composition, oil and water absorption and degree of whiteness were investigated, and chemical and thermal analyses (DT/TG) were performed. Physico-chemical properties of this limestone classify it among high quality carbonate raw materials with relatively high CaCO₃ content of 97.68 %, as well as low MgCO₃ content of 1.849 % and low silicate content (SiO₂ 0.24 %). Its quality satisfies requirements of standards on using of calcium carbonate as filler in industry of paints and coatings; glass industry; foundry industry; sugar industry and metallurgy. Due to the low degree of whiteness (77,85 %) “Glavatske Kuće” limestone cannot be used in pharmaceutical and cosmetics industry, paper industry. Because of increased MgO content, limestone “Glavatske kuće” cannot be used in the fertilizers industry. Due to relatively high content of heavy metals, Cu (47 ppm), Ni (50 ppm) and Cd (8 ppm), as well as biogenic elements P₂O₅ (0.0234 %), K₂O (0,0157 %), “Glavatske Kuće” limestone cannot be used in production of cattle feed and for neutralization of acidic soils.

Key words: limestone, filler, industrial use, standards, comminution and classification.

¹ Institute for technology of nuclear and other mineral raw materials, 86 Franchet d'Espéry Street, Belgrade, Serbia, d.radulovic@itnms.ac.rs

² Geological Survey of Montenegro, Podgorica, Montenegro

ISTRAŽIVANJE U CILJU DEFINISANJA TEHNOLOŠKOG PROCESA DOBIJANJA PUNILA ZA UPOTREBU U RAZLIČITIM INDUSTRIJAMA NA OSNOVU KRAČNJAKA “GLAVATSKE KUĆE”-KOTOR

Apstrakt

U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja mogućnosti upotrebe krečnjaka „Glavatske kuće“-Kotor (Crna Gora) kao punila u različitim industrijskim granama. Ispitivane su metode mikronizacije, granulometrijski sastav, upijanje ulja i vode i stepen beline, izvršene su hemijske i termičke analize (DT/TG). Fizičko-hemijska svojstva ovog krečnjaka svrstavaju ga među visokokvalitetne karbonatne sirovine sa relativno visokim sadržajem CaCO_3 od 97,68 %, kao i niskim sadržajem MgCO_3 od 1,849 % i niskim sadržajem silikata (SiO_2 0,24 %). Svojim kvalitetom zadovoljava zahteve standarda o upotrebi kalcijum karbonata kao punila u industriji boja i premaza; industrija stakla; livnička industrija; industrije šećera i metalurgije. Zbog niskog stepena beline (77,85 %) krečnjak „Glavatske kuće” ne može se koristiti u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji, industriji papira. Zbog povećanog sadržaja MgO, krečnjak „Glavatske kuće” ne može se koristiti u industriji đubriva. Zbog relativno visokog sadržaja teških metala, Cu (47 ppm), Ni (50 ppm) i Cd (8 ppm), kao i biogenih elemenata P_2O_5 (0,0234 %), K_2O (0,0157 %), krečnjak „Glavatske kuće” ne može se koristiti u proizvodnji stočne hrane i za neutralizaciju kiselih zemljišta.

Ključne reči: Krečnjak, punila, industrijska upotreba, standardi, usitnjavanje i klasifikacija.

1. INTRODUCTION

The limestone is a sedimentary rock predominantly comprising carbonate minerals (i.e. calcium carbonate, CaCO_3) in the quantity that surpasses 50 %. Quartz and clay minerals (e.g. kaolinite, hydrous mica, montmorillonite) are other two major constituents of the limestone (Gunasekaran and Anbalagan, 2008; Radulović et al., 2017c). Since a substitution of calcium by magnesium occasionally occurs, a limestone that contains 5-35 % of Mg is defined as “magnesian limestone”. If Mg content is below 5 %, the rock is classified as a “high-calcium limestone” (Radulović et al., 2017c; Dollimore et al., 1994). The carbonates present in the limestone customarily appear as calcite, aragonite and/or vaterite mineral phases. However, the only crystal form of real significance is calcite (Radulović et al., 2017c; Yoğurtcuoğlu and Uçurum, 2011).

Calcite (CaCO_3) is one of the most common minerals on Earth, comprising about 4% by mass of the Earth’s crust (Radulović et al., 2017a). Calcite occurs in

carbonates and nepheline syenites as the primary component of the magmatic phase, and is also common in hydrothermal deposits. In metamorphosed deposits, calcite occurs in form of marble. In carbonates, dolomite ($(Ca, Mg)CO_3$), magnesite ($MgCO_3$), siderite ($FeCO_3$), rhodochrosite ($MnCO_3$) and smithsonite ($ZnCO_3$) occur as isomorphous with calcite (www.minweb.co.uk/carbonates/calcite.html).

By being the most abundant and enclosing at least 50% of all present mineral phases in the limestone, calcite is an important resource and subject of investigations in various scientific fields: mineralogy, chemistry, physics, materials science (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Saeid and Elnaz, 2016; Weerd et al., 2011; Felekoglu, 2007; Anastasiou et al., 2015). Calcite crystallizes rhombohedrally, in a hexagonal-scalenohedral class and space group $R\bar{3}c$. The parameters of a single cell are as follows: $a = b = 4.988 \text{ \AA}$, $c = 17.061 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$, $V = 367.85 \text{ \AA}^3$, $Z = 6$ (Radulović et al., 2017a; Yuan et al., 2008; Radulović, 2011; Przeniosło et al., 2016). Due to the perfect rhombohedral cleavage, calcite exhibits a small value of Mohs hardness (3.0). The specific gravity of calcite is 2.7 (Yoğurtcuoğlu and Uçurum, 2011; Radulović et al., 2017a). The thermally induced behavior, i.e. calcium carbonate stability constrains and the rules of phase transitions, represents a basis for a comprehensive study of the limestone (Radulović et al., 2017a; Przeniosło et al., 2016; McIntosh, 1990; Salvador, 1989).

Calcite is used for production of lime and Portland cement, while in construction industry it is applied as crushed or decorative stone. Calcium is also an important micronutrient. Several commercial drugs (antacids and calcium supplements) are, in fact, ground limestone (Radulović et al., 2017a; Barcina et al., 1997). Also of importance is its application as a filler, in various branches of industry (pharmaceutical, fodder, PVC and rubber, paints and glue industries, mineral fertilizers industry, foundry, metallurgy, etc.), as well as in agriculture where it is used for adjustment of soil pH value.

Republic of Montenegro has big reserves of limestone in coastal area and in south of the territory (William, 2011). Even though deposits are huge, limestone is mainly used in construction as construction stone, and to some extent as architectural stone (Radulović et al., 2017a; ITNMS report, 2011). Since calcium carbonate as filler is much more expensive than construction stone, relevant institutions of Montenegro initiated investigations of the possibility of using limestone as filler (Radulović et al., 2017a). On the basis of the obtained results it was evaluated whether it can be used as filler in accordance with standards (SRPS) in various industry branches (Radulović et al., 2017a; Radulović et al., 2017b; Terzic et al., 2017; Mihajlović, 2011; Sekulić, 2011).

“Glavatske Kuće”-Kotor deposit consists of carbonate sediments, mostly limestone ones, and less dolomitic sediments. Ore reserves are estimated at about 15,000,000 t of limestone (Radulović et al., 2017a; William, 2011). The aim of investigations presented in this paper was to determine the possibility of using raw material as filler in various industry branches.

2. EXPERIMENTAL

2.1. MATERIALS AND METHODS

Starting limestone sample used in investigations was from “Glavatske Kuće” - Kotor deposit. First, its specific volumetric weight (density) and granulometric composition were determined. Its density was measured by pycnometer with xylol as fluid, granulometric composition was determined by Tyler screen (http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/stone_crushed/mcs-2010-stonc.pdf). Granulometric composition of the micronized sample was determined by sieve size 63 μm , classification on Cyclosizer and Bach elutriator. Limestone filler quality was determined by chemical, mineralogical (XRD), DT/TG and FTIR spectroscopy analysis. Degree of whiteness was determined by whiteness meter, according to MgO 100% standard.

Mineralogical analysis of the limestone samples was conducted by means of the X-ray powder diffraction (XRD) technique. The X-ray powder diffraction patterns were acquired on a Philips PW-1710 automated diffractometer using a Cu tube operated at 40 kV and 30 mA. The instrument was provided with a diffracted beam curved graphite monochromator and a Xe-filled proportional counter. Measurements were conducted at ambient temperature (25°C). The diffraction data were assembled in the 2θ Bragg angle range from 5 to 70°, counting for 1 s (qualitative identification) at every 0.02° step. The divergence and receiving slits were fixed at 1 and 0.1, respectively.

The thermal behavior was monitored by simultaneous Differential thermal analysis (DTA) and thermo-gravimetry (TG) in the temperature range from 20° C to 1000° C. DTA/TG analyses were conveyed in a static air flow by an automatic thermo-analyzing system: STA 409EP (Netzsch, Germany). The limestone samples (100 mg) were loosely packed into an alumina holder and thermally treated under a nitrogen atmosphere at a heating rate of 10° C/min, in temperature interval from 20 to 1000° C.

The chemical bonds, distinctive molecular fingerprints, functional groups and covalent bonding information were detected via Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy analysis. The FTIR spectra were obtained on a Nicolet IS-50 spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA), recorded in KBr transmission mode in the 4000-400 cm^{-1} range and 32 scans at resolution 4.

The morphology of the samples was characterized by scanning electron microscopy (JEOL JSM-6610LV). The investigated samples were covered by gold using a sputter machine type BALTEC-SCD-005 for improvement of the conductivity prior to imaging.

2.2. INVESTIGATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF STARTING SAMPLE

Specific volumetric weight of the starting sample is $\gamma = 2,689 \text{ g/cm}^3$.

Based on the results of screening test, is drawn a diagram of particle size distribution, shown in Figure 1, for samples of limestone "Glavatske Kuće". In Figure 1, shows the direct curve of particle size distribution and cumulative curves and average sample of outflow and flow limestone deposits "Glavatske Kuće"-Kotor. From the intersection of cumulative curves average outflow and flow determined that the average diameter of the sample of limestone $d_{50} = 9.06 \text{ mm}$, and upper size limit of the sample was $d_{95} = 18.54 \text{ mm}$.

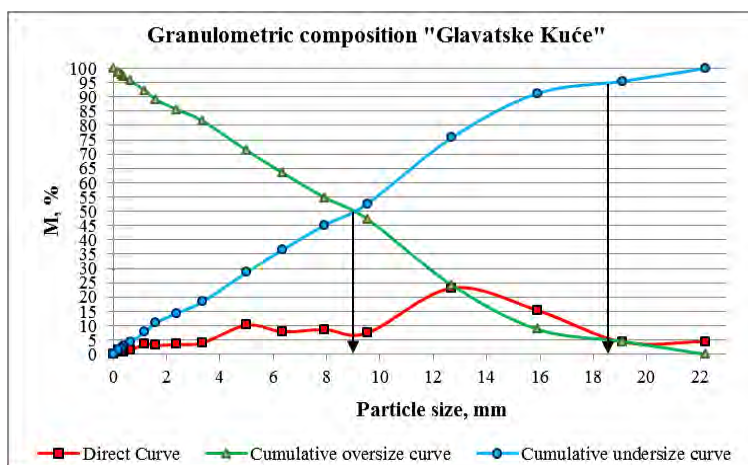


Figure 1. The curves of particle size-composition of the starting sample "Glavatske Kuće" - Kotor

2.3. TECHNOLOGICAL INVESTIGATIONS

For investigations of the possibility of using limestone as filler in various industry branches limestone was micronized, and thus obtained product were subjected to the following physico-chemical characterization:

- chemical analysis, mineralogical analysis (XRD), thermal (DT/TG) analysis, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy analysis, morphology of the samples by scanning electron microscopy (SEM), determination of granulometric composition, degree of whiteness and absorption of oil and water.

2.3.1. Determining granulometric composition of micronized sample

Table 2. Granulometric composition of grinded sample “Glavatske Kuće”

Size class [μm]	M, %	↑ΣM, %	↓ΣM, %
-63+44	3,20	3,20	100,00
-44+33	8,50	11,70	96,80
-33+23	7,90	19,60	88,30
-23+15	5,50	25,10	80,40
-15+11	5,00	30,10	74,90
-11+5,7	42,78	72,88	69,90
-5,7+0	27,12	100,00	27,12
Input	100,00	/	

Granulometric composition of the micronized products showed that the finest class -5.7 μm content is around 27%.

2.3.2. Chemical analysis

Results of chemical analysis of the micronized limestone with contents of main components and damaging components are presented in Tables 3. and 4.

Table 3. Chemical composition of main components of limestone sample

Comp.	CaO	CaCO ₃	CO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Cont., %	54.73	97.68	43.92	0.884	0.065	0.0090

Comp.	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
Cont., %	0.240	0.0157	0.060	<0.02	0.0234	44.28

Table 4. Chemical composition of damaging components of limestone sample

Comp.	Cu	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
Cont., %	47ppm	26ppm	<0,01%	0,0102	50 ppm	10 ppm	<50 ppm

Comp.	Sb	Pb	Cd	pH	Fe solu.	As	Hg
Cont., %	<25 ppm	<25 ppm	8 ppm	9,50	0,043%	/	/

Results of physico-chemical characterization of “Glavatske Kuće” limestone sample and the required filler quality (Standards) lead to conclusion that this limestone is of good quality. Namely, its CaCO₃ content is high - 97.68 %, and MgO (0.884 %) and silicates (SiO₂ 0.24 %) content low. However, relatively high content of heavy metals was found, above all Cu (47 ppm), Ni (50 ppm) and Cd (8 ppm) and biogenic element P (0.0102 %).

2.3.3. Determining mineralogical composition of micronized sample

2.3.3.1. X-ray diffraction studies

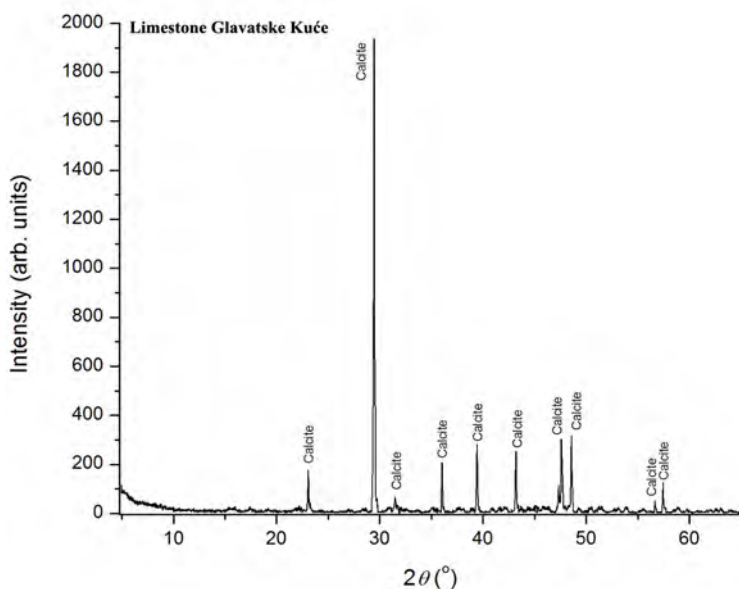


Figure 2. XRD diffractogram of “Glavatske Kuće” limestone sample

The XRD diagram indicates that the investigated limestone sample is mainly composed of calcite with minor amounts of dolomite, quartz, mica, and clay minerals. The minor phases can scarcely be distinguished on the diagram because their reflections are either too feeble or overlapped and superposed by other more significant peaks. In the investigated sample, calcite was found to be the most abundant; therefore, the most significant XRD reflections belong to this mineral phase. According to the chemical analysis of the sample (Table 3), the content of calcium carbonate was 98.05%. The intensity of the calcite XRD peaks (very high the calcite peak of limestone situated at 30°), indicates a high level of crystallinity and presence of less amorphous solid.

2.3.3.2. Infrared (FTIR) spectroscopy analysis

The FTIR measurements were conducted in the wide region of 4000-400 cm^{-1} . The free carbonate ion belongs to the symmetry point group D_{3h} . Therefore, the CO_3^{2-} ion has four normal vibrations of which one belongs to the species A_1' , one is of species A_2' , while two vibrations belong to the E' species (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Milosavljević, 1974). The carbonate functional group that is present in the calcite corresponds to the D_{3h} point group as a nonlinear with 4 atoms ($N=4$). This group has $3N-6=6$ basic vibrations of which $N-1=3$ are valent

(Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Milosavljević, 1974). The spectral difference between the more common groups may be related to crystal structure. The spectral relationships among the minerals of several groups are not well known, due to the complicated composition and crystal structure. Infrared active groups of CO_3 , HCO_3 , H_2O and OH normally dominate the absorption characteristics (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Andersen and Brečević, 1991).

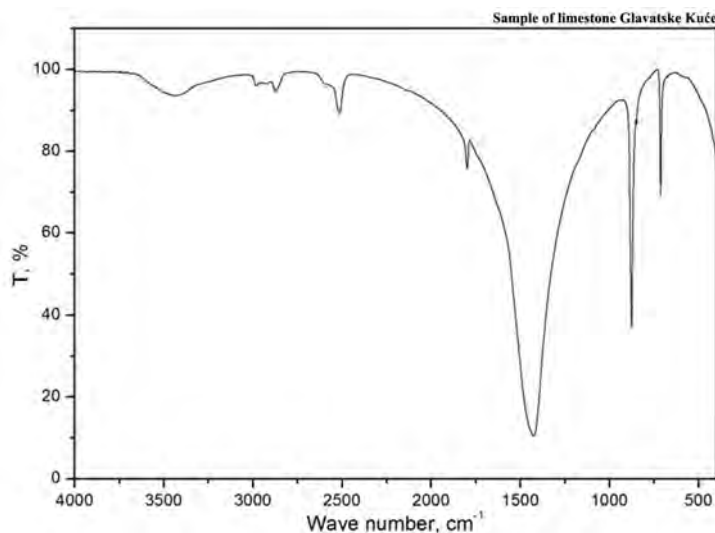


Figure 3. FTIR spectra of the “Glavatske Kuće” limestone sample

In the FTIR spectrum of the calcium carbonates (CaCO_3) the main absorption bands appear in the regions $1500\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$, $1100\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$, $900\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ and close to 700 cm^{-1} (Radulović et al., 2017a; Andersen and Brečević, 1991). The infrared spectra of the calcite and dolomite groups are normally characterized by three prominent absorption maxima and two minor peaks (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Andersen and Brečević, 1991). The analysis of the K19 sample showed eight peaks of different intensities on the diagram (given in Fig. 8): 3435 , 2182 , 2874 , 2515 , 1798 , 1424 , 876 and 712 cm^{-1} . The FTIR bands at 1424 , 876 and 712 cm^{-1} had distinguished peaks, while the rest of peaks were minor. The registered bands are all considered to be caused by the CO_3 groups with the crystals (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Huang and Kerr, 1960). Namely, from the analysis of the space group characteristics, the existence of four molecular frequencies for the CO_3 ions in calcite is acknowledged of which three are active in the infrared spectrum (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Andersen and Brečević, 1991; Huang and Kerr, 1960; Hopkins et al., 2015).

Since the CaCO_3 contains less than one molecule of water per CaCO_3 in the structure (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Andersen and Brečević, 1991), the bands that correspond to the three normal vibrations of the water molecule

were found: at 3435, 2182, 2874 and 2515 cm^{-1} (antisymmetric and symmetric O-H stretches), and at 1798 cm^{-1} (HOH bending). The band of medium intensity observed at 876 cm^{-1} is assigned to the ν_2 which is a symmetric normal vibration of carbonate ion that corresponds to the CO_3 out-of-plane deformation mode. The strong broad band at 1424 cm^{-1} region corresponds to the symmetric normal ν_3 vibration that is an asymmetric C-O stretching mode. A relatively weak absorption at 700 cm^{-1} can be related to the ν_4 vibration which is characterized by in-plane deformation mode. As it can be seen in Fig. 6, the acknowledged bands are split and the band maxima is being observed at 1424, 876 and 712 cm^{-1} . Thereby, the site symmetry for CO_3^{2-} that is present in the limestone (i.e. calcite as the main phase) can be described as D_3 ($A_1(\text{R})(\nu_1)$, $A_2(\text{I})(\nu_2)$ and $E(\text{I,R})(\nu_3, \nu_4)$) which is in agreement with the crystalline structure that can be determined via XRD measurements (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Andersen and Brečević, 1991). Also, a frequency value of the infrared inactive fundamental ν_1 of calcite can be determined from the frequencies of two combination bands $\nu_1+\nu_3$ and $\nu_1+\nu_4$ observed at 2515 cm^{-1} and 1798 cm^{-1} , respectively, for the samples at low temperature, resulting in the average value 1088 cm^{-1} for ν_1 which is in agreement with the value that can be obtained from the Raman spectra of calcite (Radulović et al., 2017c; Radulović et al., 2017a; Huang and Kerr, 1960).

2.3.3.3. Scanning electron microscopic analysis

The sample Glavatske Kuće limestone, was submitted to the scanning electron microphotography to acquire finer observations of the sample's microstructure (Fig. 4).

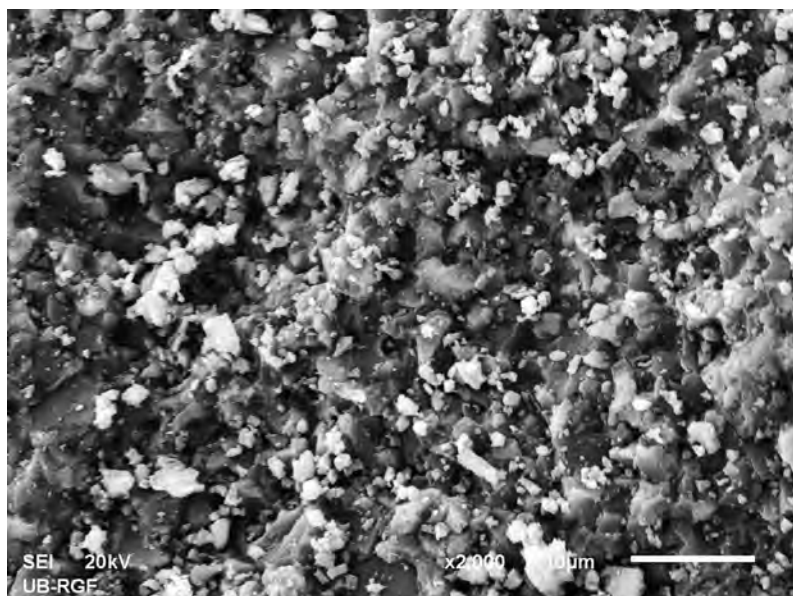


Figure 4. SEM microphotograph of the “Glavatske Kuće” - limestone sample

2.3.4. Determining the degree of whiteness

Whiteness was assessed on three samples of the limestone from deposit “Glavatske Kuće”, and the result is shown in Table 5.

Table 5. The degree of whiteness the limestone samples

No	mark of the sample	whiteness according MgO- 100%
1.	“Glavatske Kuće”-1	77,95
2	“Glavatske Kuće”-2	78,15
3	“Glavatske Kuće”-3	77,45
	Average value	77,85

2.3.5. Determination of absorption water and oil

In order to determine absorption water and oil are also used three samples of the limestone from deposit “Glavatske Kuće”, and the results are shown in Tables 6.

Table 6 Absorption of the oil of samples of limestone

No.	mark of the sample	absorption of the oil, %	absorption of the water, %
1.	“Glavatske Kuće”-1	13,45	16,95
2.	“Glavatske Kuće”-2	13,70	18,05
3.	“Glavatske Kuće”-3	13,65	17,35
	Average value	13,60	17,45

2.3.5. Thermal (DT/TG) analysis

Thermo-analytical methods are commonly applied in investigations of mechanisms and kinetics of solid state decomposition reactions. The shape of a DTA and/or TG curve is a direct function of the kinetics of reactions that take place within material, and it is also interrelated with chemical and mineralogical characteristics of the limestone (Radulović et al., 2017a; Vagenas et al., 2003). The limestone thermal behavior was assessed by means of the analysis of thermo-gravimetric and differential thermal curves of the samples that originated from Glavatske Kuće deposits. The testing has been conducted under same controlled atmosphere (described in Chapter 2.) Results of thermal (DTA/TG) analysis of the micronized sample “Glavatske Kuće” limestone are presented as a diagram in Figure 5.

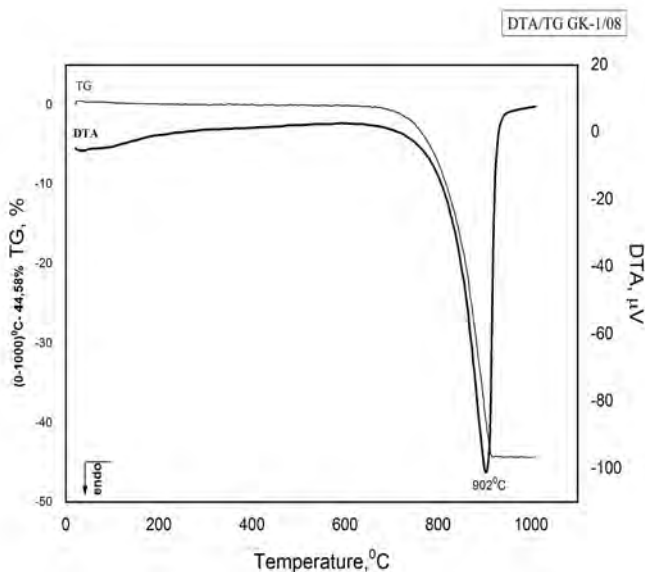


Figure 5. DTA/TG diagram of "Glavatske Kuće" limestone sample

The dominant thermally induced reaction that took place in the investigated limestone sample, which contained over 90% of calcium carbonate, is calcination, i.e. decomposition of CaCO_3 induced by an exposure to strong heat. This reaction is important for the industrial application of limestone (Radulović et al., 2017c; Dollimore et al., 1994; Radulović et al., 2017a; Ersoy-Mericboyu et al., 1993).

The calcinations of the carbonate is an endothermic event, therefore a typical DTA curve for a sample of calcite rich limestone exhibits a single smooth decomposition step (Fig. 2). High-calcium limestone decomposes at temperatures in the vicinity of 800-900° C in one stage with the formation of calcium oxide and carbon dioxide. The dissociation proceeds gradually from the outside surface inwards, with the reaction taking place at an interface between calcite and the residual oxide (Radulović et al., 2017c; Dollimore et al., 1994; Radulović et al., 2017a). The shape of the endothermic peak with calcination temperature maximum at 902°C, is attributed to the decomposition of the calcite (CaCO_3) into CaO and CO_2 , according to the following reaction:



Immediately after this endothermic peak, DTA baseline does not drift neither endothermically nor exothermically, which means that there is no free lime present after the decomposition of calcite in the sample. The formation of the molten phase in the system did not appear in the applied thermal interval from 20° C up to 1000°C.

The TGA curves of the limestone (Fig. 2) showing only one peak of the mass variation due to completed thermal decomposition (phase transformation) of the calcium carbonate. The major mass loss takes place at approximately 900° C, and its value (measured in the temperature range from 650° C to 900° C) are 44.58 %. The value of the mass loss are in consistency with the obtained LoI.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Limestone filler quality for each industry branch is defined by appropriate standards or requirements of manufacturers who use limestone as raw material in their production cycle. Limestone quality requirements are defined as content of useful and damaging components, i.e. as chemical composition, as well as the necessary size class. New production process scheme for processing limestone Glavatske Kuće in order to obtain fillers for the various branches of industry is shown in the Figure 6 i Figure 7.

3.1. EVALUATION OF “GLAVATSKE KUĆE” LIMESTONE FILLER QUALITY BASED ON CHEMICAL COMPOSITION

According to the results presented above, limestone from “Glavatske Kuće” – Kotor deposit can be used in the following industries:

- in the paint and coating industry; where, according to market requirements and standards, it belongs to the C, D and E quality classes, while for the highest quality A and B classes, this limestone is no satisfactory degree of whiteness (SRPS EN ISO 3262-5:2009);
- in foundry industry; it belongs to the highest class I in accordance with market requirements imposed by standard (SRPS B.B6.012);
- in sugar industry; it is among the II class (due to the increased MgO content) in accordance with market and standard requirements (SRPS B.B6.013);
- in metallurgy; it is in the highest class I in accordance with market requirements imposed by standards (SRPS B.B6.011);
- in production of glass; due to the increased Fe₂O₃ and MgO content it is in quality category IV and V in accordance with market requirements imposed by standards (SRPS B.B6.020);
- Limestone from “Glavatske Kuće” – Kotor deposit cannot be used:
- in the paper industry; because its degree of whiteness, among other things, is not satisfactory (SRPS B.B6.033);
- in pharmaceutical and cosmetics industry because its low whiteness degree and increased content of heavy metal Cd relative to market requirements defined by standard (SRPS B.B6.034);

- in the rubber and PVC industry; due to Cu content (47ppm) it does not meet market requirements and standards, which are strictly defined (SRPS B.B6.031),
- for production of mineral fertilizers because of the increased MgO content, which is strictly defined by manufacturer's requirements (Azotara Pančevo);
- in production of cattle feed because of the increased content of heavy metals Cu and Cd, which is very strictly defined for this use ("Official Gazette of the Republic of Serbia 2/90, 20/00, 4/2010; 54/2017);
- for neutralization of acidic soils; because of the increased content of MgO, P₂O₅, K₂O and Cu as biogenic elements and heavy metals Ni and Cd, the contents of which are very strictly defined ("Official Gazette of the Republic of Serbia" 60/00, 41/09, 84/2017).

3.2. EVALUATION OF "GLAVATSKE KUĆE" – KOTOR LIMESTONE FILLER QUALITY BASED ON USERS' REQUIREMENTS FOR THE NECESSARY RAW MATERIAL SIZE (FINENESS)

Some industries require finely micronized limestone, while others require raw material of larger particle size, sometimes even coarse. Following industries use ground and micronized limestone:

- for paints and coatings industry; A quality 99.5% of - 20µm, B quality 97% of -20µm and 0.01% of + 44µm;
- for glass industry, since "Glavatske Kuće" limestone corresponds to quality IV and V according to its chemical composition, there is predefined granulometric composition for these quality classes, subdivided into six subclasses in size range from -1+0.1mm;
- Following industries demand larger sizes and coarse limestone:
- for foundry industry, raw material should be size -50+30 mm, with class – 30 mm content up to 5%<;
- for sugar industry, limestone is to be classified into six subclasses in size range from -215+63mm, with maximum fine content in each subclass up to 8%;
- metallurgy uses limestone consisting of five subclasses in size range from -70+0.1mm.

4. THE TECHNOLOGICAL SCHEMES

Exploitation of raw materials would be done by drilling and blasting of which would be received blasted stone with GGK (upper size limit) of 450 mm. Below the primary bunker is stationary grid (pos. 3) 20 mm aperture, which serves to separate the waste rock in it (earth, clay and small stones faction), which is transported with conveyor belt on tailing

Raw-sized 32 mm from the plant for crushing and screening goes to grinding in order to obtain milled product which is used as filler in a variety of industries that require raw and micronized limestone which “Glavatske Kuće” matched its quality. Grinding is used as the starting sieved material or can optionally be sent to the grinding classified material from any stock from S8 to S12. The technological scheme of grinding and classification of limestone “Glavatske Kuće” is reprinted in Figure 7.

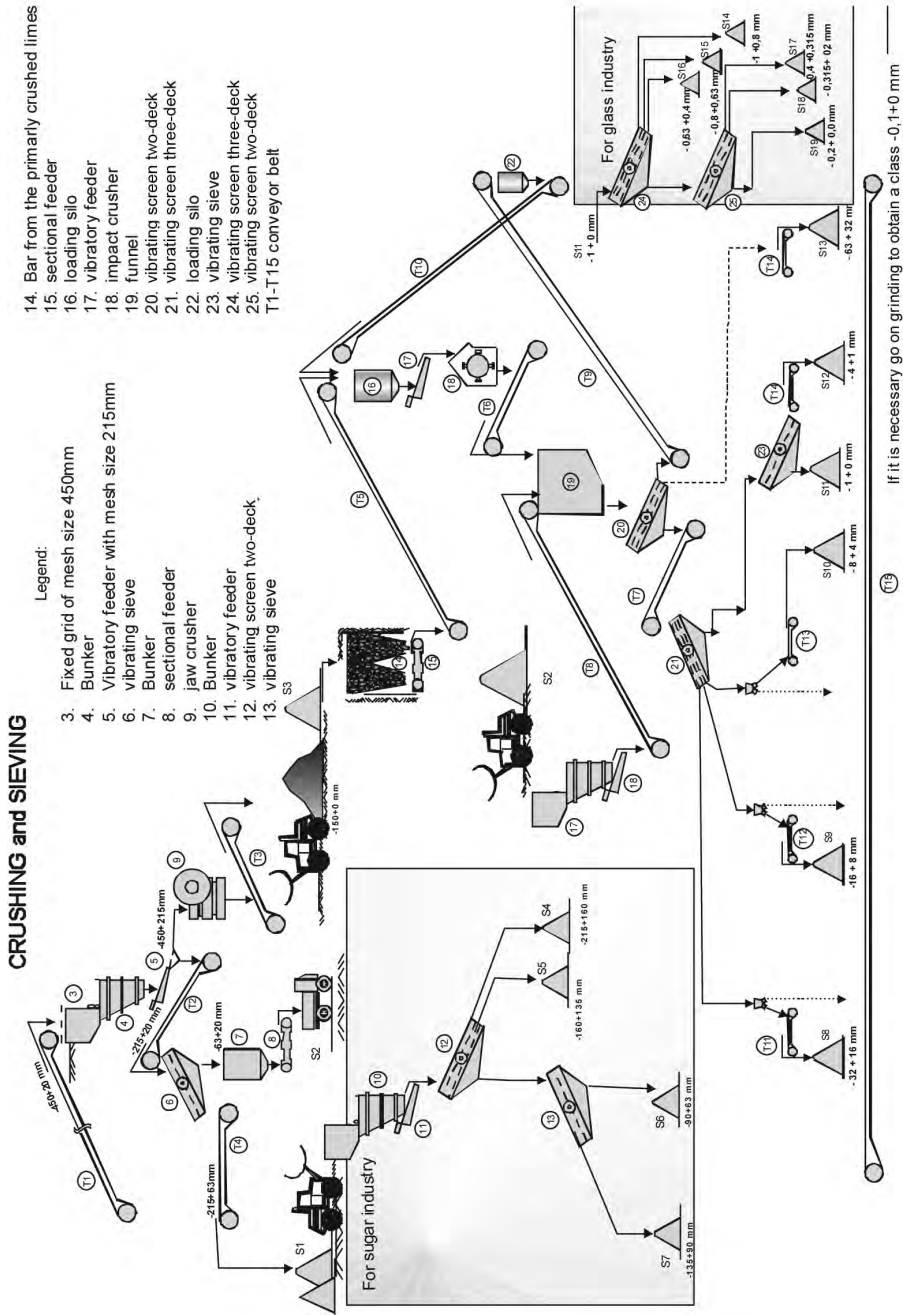


Figure 6. Technological scheme of crushing and sieving of limestone deposits "Glavatske Kuće" - Kotor

MILLING and CLASSIFYING

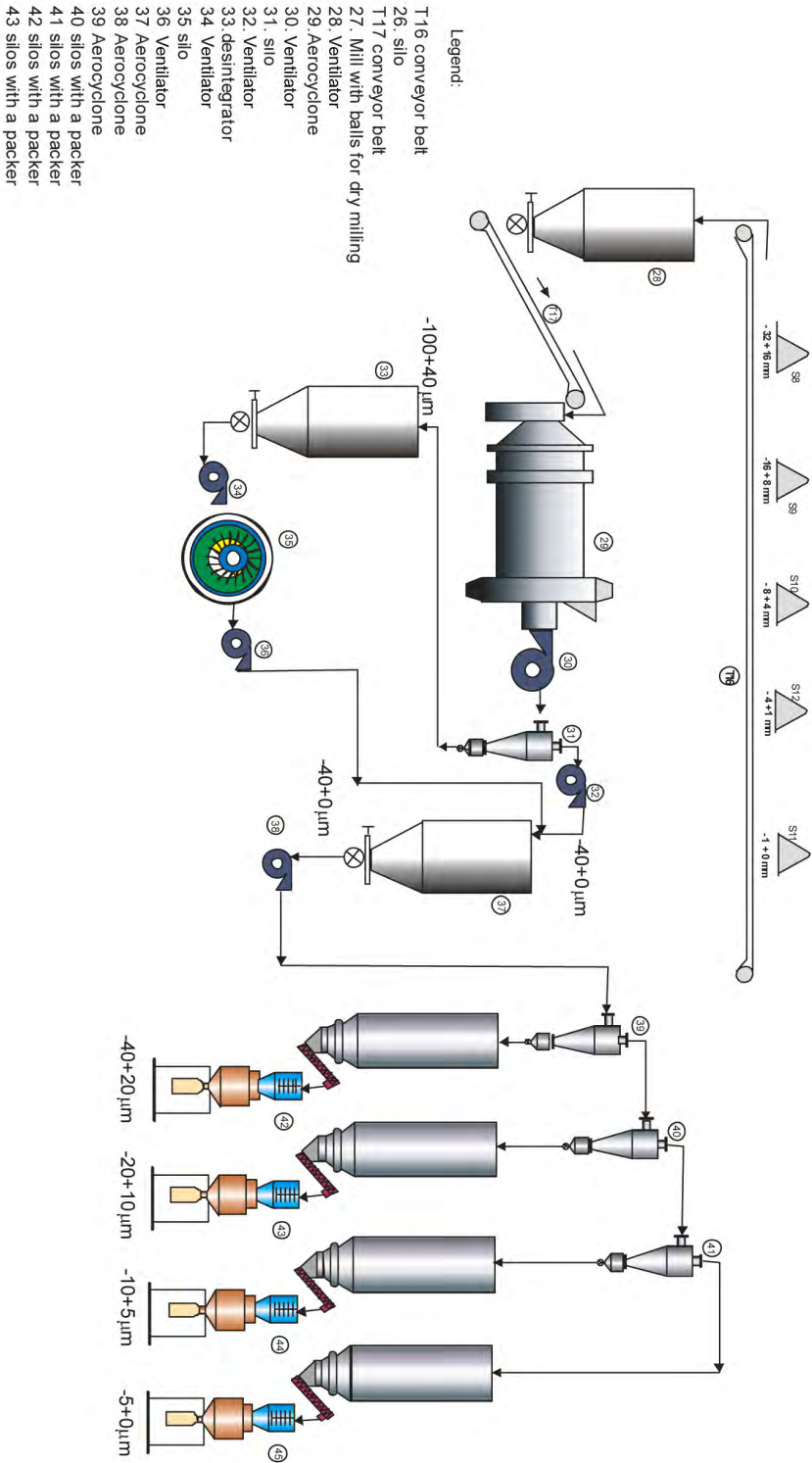


Figure 7. Technological scheme of grinding and classification of limestone deposit "Glavatske Kuće"-Kotor

5. CONCLUSION

Limestone from “Glavatske Kuće”- Kotor deposit according to its physico-chemical properties belongs to high quality carbonate raw material with high CaCO_3 content of 97.68 %, and low MgCO_3 content of 1.849 % and silicates (SiO_2 0.24 %). It meets the requirements of standards for using calcium carbonates as fillers in industry of paints and coatings; glass industry; foundry industry; sugar industry and metallurgy. According to market demand and standards it belongs to high quality raw material in the foundry industry and metallurgy. However, for the paint and coating industry; glass production, and sugar industry, this limestone does not belong to the highest quality classes defined by the standards, so it can be used as filler of lower quality in these industries.

Due to the low level of whiteness, “Glavatska kuća” limestone cannot be used in the paper, pharmaceutical and cosmetic industries. In addition, this limestone cannot be used in the pharmaceutical and cosmetic industries due to the increased content of heavy metals (Cd 8 ppm). Due to high content of heavy metals Cu (47 ppm) and Cd (8 ppm), limestone “Glavatske kuće” cannot be used in the production of cattle feed. Because of increased MgO content, limestone “Glavatske kuće” cannot be used in the fertilizers industry. Due to the high content of heavy metals Ni (50 ppm) and Cd (8 ppm), as well as biogenic elements MgO (0,884 %), Cu (47 ppm), P_2O_5 (0,0234 %), and K_2O (0,0157 %), limestone “Glavatske kuće” cannot be used for neutralization of acidic soils.

By obtaining a wide range of fillers for different industrial branches (according to the technological scheme shown in Figures 6 and 7), products would be obtained that are up to 10 times more expensive per unit mass than the products that have been used so far.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper is part of the investigation according to the research funding agreement financed by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia in 2023 under the number 451-03-47/2023-01/200023.

REZIME

Krečnjak je sedimentna stena koja pretežno sadrži karbonatne minerale (tj. kalcijum karbonat, CaCO_3) u količini koja prelazi 50%. Kvarc i minerali gline (npr. kaolinit, vodni liskun, montmorilonit) su druga dva glavna sastojka krečnjaka. Budući da je najzastupljeniji i obuhvata najmanje 50% svih prisutnih mineralnih faza u krečnjaku, kalcit je važan resurs i predmet istraživanja u različitim naučnim oblastima: mineralogiji, hemiji, fizici, nauci o materijalima.

Kalcit (CaCO_3) je jedan od najčešćih minerala na Zemlji, koji čini oko 4% mase Zemljine kore. Kalcit se javlja u karbonatima i nefelinskim sijenitima kao primarna komponenta magmatske faze, a čest je i u hidrotermalnim naslagama. U metamorfoziranim naslagama, kalcit se javlja u obliku mermera. U karbonatima, dolomit (Ca, MgCO_3), magnezit (MgCO_3), siderit (FeCO_3), rodohrozit (MnCO_3) i smitsonit (ZnCO_3) se javljaju kao izomorfni sa kalcitom.

Kalcit se koristi za proizvodnju kreča i portland cementa, dok se u građevinarstvu primenjuje kao lomljeni ili ukrasni kamen. Kalcijum je takođe važan mikronutrijent. Nekoliko komercijalnih lekova (antacidi i suplementi kalcijuma) su, u stvari, mleveni krečnjak. Značajna je i njegova primena kao punila, u raznim granama industrije (farmaceutska, stočna, PVC i gumarska, industrija boja i lepkova, industrija mineralnih đubriva, livnica, metalurgija, itd.), kao i u poljoprivredi gde se koristi za podešavanje pH vrednosti zemljišta.

Republika Crna Gora ima velike rezerve krečnjaka u primorju i na jugu teritorije. Iako su nalazišta ogromna, krečnjak se uglavnom koristi u građevinarstvu kao građevinski kamen, a donekle i kao arhitektonski kamen.

S obzirom da je kalcijum karbonat kao punilo mnogo skuplji od građevinskog kamena, nadležne institucije Crne Gore su pokrenule ispitivanje mogućnosti upotrebe krečnjaka kao punila. Ležište "Glavatske Kuće"-Kotor sastoji se od karbonatnih sedimenata, uglavnom krečnjačkih, a manje dolomitskih sedimenata.

Rezerve rude se procenjuju na oko 15.000.000 t krečnjaka. Cilj istraživanja predstavljenih u ovom radu bio je da se utvrdi mogućnost upotrebe sirovine kao punila u različitim industrijskim granama.

Početni uzorak krečnjaka korišćen u istraživanjima bio je sa „Glavatske kuće” - ležište Kotor. Prvo je određena njegova specifična zapreminska težina (gustina) i granulometrijski sastav. Gustina mu je merena piknometrom sa ksilolom kao tečnim, granulometrijski sastav je određen Tiler screenom. Granulometrijski sastav mikronizovanog uzorka određen je sitom veličine 63 μm , klasifikacijom na Ciclosizeru i Bach elutriatoru.

Kvalitet krečnjačkog punila određen je hemijskom, mineraloškom (KSRD), DT/TG i FTIR spektroskopskom analizom.

Stepen beline je određen meračem beline, prema MgO 100% standardu. Mineraloška analiza uzoraka krečnjaka obavljena je tehnikom rendgenske difrakcije praha (KSRD).

Obrasci difrakcije rendgenskih zraka na prahu su dobijeni na automatizovanom difraktometru Philips PV-1710 korišćenjem Cu cevi koja radi na 40 kV i 30 mA. Termičko ponašanje je praćeno simultanom diferencijalnom termičkom analizom (DTA) i termogravimetrijom (TG) u temperaturnom opsegu od 20° C do 1000° C. DTA/TG analize su prenošene u statičkom protoku vazduha automatskom termoanalizom. sistem: STA 409EP (Netzsch, Nemačka).

Hemijske veze, karakteristični molekularni otisci prstiju, funkcionalne grupe i informacije o kovalentnom vezivanju otkrivene su analizom Fourier Transform Infracrvene (FTIR) spektroskopije.

FTIR spektri su dobijeni na Nicolet IS-50 spektrometru (Thermo Fisher Scientific, SAD), snimljenom u KBr transmissionom režimu u opsegu 4000-400 cm^{-1} i 32 skeniranja pri rezoluciji 4.

Morfologija uzoraka je okarakterisana skenirajućim elektronskim mikroskopom (JEOL JSM-6610LV). Ispitivani uzorci su prekriveni zlatom korišćenjem mašine za raspršivanje tipa BALTEC-SCD-005 radi poboljšanja provodljivosti pre snimanja.

Tehnološka šema za proizvodnju punila na bazi krečnjaka „glavatske kuće”-kotor Krečnjak sa ležišta „Glavatske kuće” – Kotor, zbog svojih fizičko-mehaničkih svojstava može se koristiti u različite svrhe kao tehničko-građevinski kamen, a po svom hemijskom sastavu može se koristiti kao sirovina za punila za različite industrije. Zbog toga je neophodno da tehnološka šema pripreme krečnjaka „Glavatske kuće” u sledećim operacijama sadrži prečistače koji bi dobijali različite veličine proizvoda za široku primenu u mnogim industrijama.

Tehnološka šema je projektovana na veoma fleksibilan način, tako da se, u zavisnosti od potreba potrošača i prerađivačkih kapaciteta, proizvodnja odvija na način da se svaka veličina klase dobija u više smena, a zatim u skladu sa zahtevima tržišta, premošćavanjem pozicija tehnologije i povezivanja dobijaju druge proizvode različite klase veličine. Tehnološka šema drobljenja i prosejavanja prikazana je na slici 6.

Krečnjak sa ležišta „Glavatske Kuće” – Kotor po svojim fizičko-hemijskim svojstvima pripada visokokvalitetnoj karbonatnoj sirovini sa visokim sadržajem CaCO_3 od 97,68 % i niskim sadržajem MgCO_3 od 1,849 % i silikata (SiO_2 0,24 %).

Ispunjava zahteve standarda za upotrebu kalcijum karbonata kao punila u industriji boja i premaza; industrija stakla; livnička industrija; industrije šećera i metalurgije. Po potražnji i standardima tržišta spada u visokokvalitetne sirovine u livačkoj industriji i metalurgiji. Međutim, za industriju boja i premaza; u proizvodnji stakla, industriji šećera, ovaj krečnjak ne pripada najvišim klasama kvaliteta definisanim standardima, pa se u ovim industrijama može koristiti kao punilo nižeg kvaliteta.

Zbog niskog stepena beline, krečnjak „Glavatska kuća” ne može se koristiti u papirnoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Osim toga, ovaj krečnjak se ne može koristiti u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji zbog povećanog sadržaja teških metala (Cd 8 ppm). Zbog visokog sadržaja teških metala Cu (47 ppm) i Cd (8 ppm), krečnjak „Glavatske kuće” ne može se koristiti u proizvodnji stočne hrane. Zbog povećanog sadržaja MgO, krečnjak „Glavatske kuće” ne može se koristiti u industriji đubriva. Zbog visokog sadržaja teških metala Ni (50 ppm) i Cd (8 ppm), kao i biogenih elemenata MgO (0,884 %), Cu (47 ppm), P_2O_5 (0,0234 %) i K_2O (0,0157 %), krečnjak „Glavatske kuće” se ne može koristiti za neutralizaciju kiselih zemljišta.

Dobijanjem širokog spektra punila za različite industrijske grane (prema tehnološkoj šemi prikazanoj na slikama 6 i 7) dobijali bi se proizvodi koji su i do 10 puta skuplji po jedinici mase od proizvoda koji su do sada korišćeni.

REFERENCES

- Anandakumaran, P., Bhattacharya, A., 1982: *TG—DTA studies on the pyrolysis of limestone—laterite mixtures*. *Thermochimica Acta* 59: 319-329.
- Anastasiou, E., Liapis, A., Papayianni, I., 2015: *Comparative life cycle assessment of concrete road pavements using industrial by-products as alternative materials*. *Resources, Conservation and Recycling* 101: 1-8.
- Andersen, F., Brečević, L., 1991: *Infrared Spectra of Amorphous and Crystalline Calcium Carbonate*. *Acta Chemica Scandinavica* 45: 1018-1024.
- Barcina, L.M., Espina, A., Sufirez, M., Garcia, J.R., Rodriguez, J., 1997: *Characterization of monumental carbonate stones by thermal analysis (TG, DTG and DSC)*. *Thermochimica Acta* 290 (2): 181-187.
- Dollimore, D., Dunn, J., Lee, Y., Penrod, B., 1994: *The decrepitation of dolomite and limestone*. *Thermochimica Acta* (231): 125-131. SSDZ 0040-6031(93)01615-A.
- Ersoy-Mericboyu, A., Ktictikbayrak, S., Yavuz, R., 1993: *Thermal decomposition kinetics of natural Turkish limestones under non-isothermal conditions*. *Thermochimica Acta*, 223: 121-128.
- Felekoglu, B., 2007: *Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case)*. *Resources, Conservation and Recycling* 51(4): 770-791.
- Gunasekaran, S., Anbalagan, G., 2008: *Spectroscopic study of phase transitions in natural calcite mineral*. *Spectrochimica Acta Part A* (69): 1246 - 1251.
- Hopkinson, L., Rutt, K., Kristova, P., Blows, J., Firth, C., 2015: *Sourcing limestone masonry for restoration of historic buildings, a spectroscopic pilot study*. *Journal of Cultural Heritage* 16(6): 822-830.
- Huang, C. K., Kerr, P. F., 1960: *Infrared study of the carbonate minerals*. *The American Mineralogist* 45: 311-324.
- McIntosh, R., Sharp, J., Wilburn, F., 1990: *The thermal decomposition of dolomite*. *Thermochimica Acta*, 165(2): 281-296.
- Mihajlović, S., 2011: *Physico-chemical modification of calcite with stearic acid*. doctoral dissertation, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia. (In Serbian)
- Milosavljević, R., 1974: *Methods of testing mineral raw materials in the mineral processing*. Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia. (In Serbian)
- Przeniosło, R., Fabrykiewicz, P., Sosnowska, I., 2016: *Monoclinic deformation of calcite crystals at ambient conditions*. *Physica B: Condensed Matter*.496:49-56.
- Radulović, D. S., 2011: *The effects of ions of apatite and calcite on their surface properties*. Faculty of mining and geology, Doctoral dissertation, University of Belgrade, Department of Mineral Processing, Belgrade, Serbia. (In Serbian)
- Radulović, D., Petrov, M., Bogdanović, G., Andrić, Lj., Božović, D., 2017a: *Investigation in order to defined the technological process of obtaining fillers for use in various industries on the basis of limestone “Gigovići”-Ulcinj*. *Journal of Mining and Metallurgy*, ISSN 1450-5959 (printed) 2560-3159 (online) 53 A (1) (2017) pp.43-55.

Radulović, D.S., Petrov, M., Trumić, M.S., Trumić, M.Ž., Bogdanović, G., Andrić, Lj., 2017b: *Possibility of using limestone from „Gigovići“-Ulcinj deposit as filler in various industry branches*. Proceedings of XII International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor Lake, 13-15. Septembar 2017. Serbia, pp. 97-104.

Radulović, D., Terzić, A., Pezo, P., Andrić, Lj., Grigorova, I., 2017c: *The Chemometric Study of Limestone Physico-chemical Properties and Thermal Behavior for Application in Construction Composites*. Science of Sintering, 49 (3): 247-261.

Saeid, D., Elnaz, S., 2016: *A modified model of a single rock joint's shear behavior in limestone specimens*. International Journal of Mining Science and Technology 26 (4): 577-580.

Salvador, A.R., Calvo, E.G., Aparicio, B., 1989: *Effects of sample weight, particle size, purge gas and crystalline structure on the observed kinetic parameters of calcium carbonate decomposition*. Thermochemica Acta, 143: 339-345.

Sekulić, Ž.T., 2011: *Calcium carbonate and quartz raw materials and their application*. Monograph, ISBN 978-86-82867-24-1, ITNMS, Belgrade, 21-75. (In Serbian)

Terzic, A., Radulovic, D., Pezo, L., Andric, Lj., Milicic, Lj., Stojanovic, J., Grigorova, I., 2017: *The effect of mechano-chemical activation and surface treatment of limestone filler on the properties of construction composites*. Composites Part B 117: 61-73.

Vagenas, N.V., Gatsouli, A., Kontoyannis, C.G., 2003: *Quantitative analysis of synthetic calcium carbonate polymorphs using FT-IR spectroscopy*. Talanta 59(4): 831-836.

Weerd, K. D., Haha, M.B., Saout, G.L., Kjellsen, K.O., Justnes, H., Lothenbach, B., 2011: *Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash*. Cement and Concrete Research 41: 279-291.

William, W. D., 2011: *Introduction to Mineralogy*. 2nd Edition. Oxford University Press. Inc., New York.

Yoğurtcuoğlu, E., Uçurum, M., 2011: *Surface modification of calcite by wet-stirred ball milling and its properties*. Powder Technology 214: 47-53.

Yuan, P.Q., Cheng, Z.M., Zhou Z.M., Yuan, W.K., Semiat, R., 2008: *Zeta potential on the anti-scalant modified sub-micro calcite surface*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 328(1-3) 60-66.

The report of the investigations of limestones from the area of Montenegro, for their application as a fillers in various branches of industry, ITNMS Archive, Belgrade, 2011. (In Serbian)

www.minweb.co.uk/carbonates/calcite.html

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/stone_crushed/mcs-2010-stonc.pdf

Darko Božović¹, Ivan Danilović², Dragan Radulović³

KREČNJACI LEŽIŠTA TEHNIČKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA PLATAC KAO KARBONATNA SIROVINA

Apstrakt

Tehničko-građevinski kamen je karbonatna sirovina koja u Crnoj Gori ima neograničen potencijal i predstavlja jednu od najznačajnijih mineralnih sirovina. Posebna valorizacija stijena karbonatnog sastava, prevashodno krečnjaka, je proizvodnja karbonatnih punila i njihova primjena u raznim granama industrije. U radu su prikazani, rezultati višegodišnjih geoloških istraživanja krečnjaka ležišta Platac, utvrđene rezerve, kvalitet i mogućnost primjene krečnjaka.

Ključne riječi: tehničko-građevinski kamen, punila, rezerve, kvalitet.

LIMESTONES OF PLATAC TECHNICAL-BUILDING STONE DEPOSITS AS CARBONATE RAW MATERIALS

Abstract

Technical-building stone is a carbonate raw material that has unlimited potential in Montenegro and is one of the most important mineral raw materials. A special valorization of rocks with a carbonate composition, primarily limestone, is the production of carbonate fillers and their application in various branches of industry. The paper presents the results of multi-year geological investigations of the limestone deposits of Platac, the established reserves, the quality and the possibility of applying limestone.

Keywords: technical-building stone, fillers, reserves, quality.

¹ dr, naučni saradnik, Zavod za geološka istraživanja Podgorica, bozovic.d@geozavod.co.me

² dipl. inž. geologije, Zavod za geološka istraživanja Podgorica, danilovic.i@geozavod.co.me

³ dr, viši naučni saradnik, ITNMS-Beograd, d.radulovic@itnms.ac.rs

UVOD

Tehničko-građevinski kamen krečnjačkog sastava u Crnoj Gori je uglavnom valorizovan kroz korišćenje za proizvodnju agregata različitih frakcija i njihovu primjenu u građevinarstvu. Međutim, posebna valorizacija stijena karbonatnog sastava, prevashodno krečnjaka, osim proizvodnje agregata različitih frakcija za njihovu primjenu u tehničko-građevinske svrhe, je proizvodnja karbonatnih punila (Božović, 2016). Fino mljeveni kamen odnosno krečnjak, zadovoljavajućeg hemijskog sastava, osim za ove svrhe, može se koristiti se kao punilo (mineralno brašno, filer) i u drugim, veoma značajnim industrijskim granama (industriji boja, lakova, pesticida, gume, hartije, plastičnih masa, koncentrata za stočnu i živinarsku ishranu, u poljoprivredi za poboljšavanje sastava zemljišta i dr.).

Proizvodi krečnjaka za primjenu kao karbonatno punilo u mnogim granama industrije moraju da posjeduju veoma visok kvalitet. Ovi zahtjevi u pogledu kvaliteta nisu posebno izraženi kada je u pitanju krečnjak namijenjen za građevinarstvo. Kvalitet i upotrebljivost krečnjaka kao karbonatno punilo prevashodno određuje njihov hemijski sastav i fizička svojstva (Božović i dr., 2018). Svaka od industrijskih grana koja koristi krečnjak kao mineralne punioce postavlja određene zahtjeve u pogledu kvaliteta. Zahtjevi za krečnjake koji se koriste za punila su veoma visoki i mogu se zadovoljiti samo ako krečnjak ispunjava određene kriterijume, kao što su hemijski sastav, bjelina, sadržaj određenih mikroelemenata. Za primjenu krečnjaka, kao sirovine, u određenim granama industrije, zahtjevi u pogledu kvaliteta (stepena čistoće) su veoma visoki, tako da bi se neka količina krečnjaka definisala kao ekonomski interesantna, potrebno je utvrditi i uslove koji su postojali pri njihovom obrazovanju (genetske), a potom i kvalitativna svojstva u smislu prisustva štetnih komponenti, sadržaja pojedinih komponenti, odnosno stepena čistoće krečnjaka.

U proteklom periodu u Crnoj Gori, vršena su ispitivanja gornjokrednih krečnjaka na više lokaliteta u okviru Jadransko-jonske zone sa aspekta mogućnost njihovog korišćenja kao sirovine za proizvodnju karbonatnih punila. Ispitivanjima su obuhvaćeni tereni Crnogorskog primorja, i to područje Luštice i Grblja i to prevashodno postojeća ležišta tehničko-građevinskog kamena, kao i lokacije koje bi mogle biti interesantne sa aspekta korišćenja krečnjaka kao sirovine za proizvodnju kalcijum karbonatnog punila (Božović, 2008).

Imajući u vidu uslove obrazovanja i djelimično prethodno poznavanje kvalitativnih osobina, ocijenjeno je da krečnjaci ležišta Platac predstavljaju potencijalnu sirovinu, koja može zadovoljiti propisane uslove za primjenu u raznim granama industrije. Iz tog razloga na predmetnom ležištu vršena su ispitivanja krečnjaka u cilju utvrđivanja njihovih kvalitativnih karakteristika.

1. GEOGRAFSKI PRIKAZ

Ležište tehničko-građevinskog kamena "Platac" u geografskom smislu pripada primorskom regionu. Nalazi se u priobalnom dijelu Crne Gore, u području Grblja, u mjestu Krimovice, na južnim i jugoistočnim padinama istoimenog brda Platac (302,2 mnm), 7 kilometara sjeverozapadno od Budve, na nadmorskoj visini od 257 do 302 metra. Prema administrativnoj podjeli, prostor na kom se ležište nalazi pripada Opštini Kotor. Ležište tehničko-građevinskog kamena "Platac" pripada geografskom listu Cetinje, 1:100 000, odnosno sekciji Budva 1:25 000 i zahvata površinu od oko 14 ha.

Do ležišta vodi lokalni asfaltni put, dužine oko 5 km, koji preko naselja Uvala Trsteno i Jaz, spaja područje Krimovica i ležište sa Jadranskom magistralom na dionici Budva-Tivat (Kotor). Ležište je sa pomenutim lokalnim asfaltnim putem povezano širokim asfaltnim i manjim dijelom makadamskim putem dužine oko 350 m, koji je urađen za potrebe površinskog kopa. Osim toga, u cilju boljeg funkcionisanja kamenoloma urađen je novi put (većim dijelom asfaltiran) do ležišta, dužine 4,5 km i širine oko 7 m, koji se od lokalnog puta Jadranska magistrala-Krimovice odvaja na Rtu Jaz iznad Uvale Trsteno, čime je izbjegnuta transport asfaltnim putem kroz naselje Krimovice.

2. METODE ISTRAŽIVANJA

Ležište tehničko-građevinskog kamena bilo je predmet geoloških istraživanja u više navrata. U prvoj etapi vršena su regionalna geološka istraživanja u cilju sagledavanja ukupne geološke građe i strukturno-tektonskih odnosa regionalnih razmjera. U drugoj etapi vršena su osnovna geološka istraživanja sa ciljem analize različitih karbonatnih formacija i određivanja litoloških, tektonskih i stratigrafskih karakteristika, koja su pratila i biostratigrafska, sedimentološka, hemijska i dijelom fizičko-mehanička ispitivanja uz izdvajanje rudnih formacija arhitektonsko-građevinskog kamena. Na osnovu dobijenih podataka izdvojen je prostor ležišta "Platac" na kojem su prvi put tokom 2002. godine (treća etapa) izvedena i detaljna geološka istraživanja u cilju dokazivanja rezervi i kvaliteta tehničko-građevinskog kamena, odnosno urađen "Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi tehničko-građevinskog kamena ležišta "Platac" (Grbalj), sa stanjem rezervi 31.12.2002. godine". Nakon toga, na ležištu tehničko-građevinskog kamena "Platac" vršena su detaljna geološka istraživanja u više navrata, u cilju dokazivanja rezervi i kvaliteta tehničko-građevinskog kamena iz predmetnog ležišta, što je u skladu sa zakonskom obavezom Koncesionara.

Takođe, u okviru Projekta "Potencijalnost krednih krečnjaka Crne Gore kao sirovine za dobijanje karbonatnih punila", (Božović, 2008), na predmetnom ležištu, izvršeno je oprobavanje krečnjaka u cilju sagledavanja njihovih kvalitativnih karakteristika, sa aspekta primjene kao karbonatnog punila u različitim industrijskim granama.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Krečnjaci ležišta “Platac” genetski su vezani za plitkovodnu sredinu pri čemu se sedimentacija karbonatnih naslaga odvijala na karbonatnoj platformi u uslovima plićeg subtajdala. Karbonatne stijene u ovom ležištu nastaju u mirnim uslovima sedimentacije, gdje dolazi do brzog obaranja karbonatnog mulja. Primarni karbonatni talog je naknadno izmijenjen procesima kasnodijagenetske dolomitizacije, koja je izvršena samo djelimično, tako da je u ležištu zastupljen čitav niz prelaza od čistih i slabodolomitičnih krečnjaka do krečnjačkih dolomita. Osim na ovom ležištu, krečnjaci ovog tipa su zastupljeni na širem području Grblja.

Karbonatne naslage ležišta tehničko-građevinskog kamena “Platac” prikazane su na osnovu podataka višegodišnjih, detaljnih geoloških istraživanja koja su izvedena na predmetnom ležištu, kao i na osnovu rezultata kompleksnih ispitivanja predmetnih krečnjaka sa aspekta njihove primjene kao karbonatnog punila.

3.1. SEDIMENTOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Ležište tehničko-građevinskog kamena “Platac“ izgrađuju karbonatne naslage gornje krede (mastrihta), predstavljene smeđesivim i smeđim, slojevitim i bankovitim, slabobituminoznim, uškrljenim krečnjacima i dolomitičnim krečnjacima. Krečnjaci i dolomitični krečnjaci su mjestimično slabobituminozni.

Krečnjaci su predstavljani pretežno biomikritima, biosparitima i biointramikritima, a prema Dunham-ovoj klasifikaciji pripadaju strukturnom tipu W, W-P. i G.

Dolomitizacija je kasnodijagenetska i zahvatila je samo pojedine dijelove stuba naslaga, tako da se javlja čitav niz prelaza od krečnjaka, preko dolomitičnih krečnjaka ka dolomitima. Prema učestalosti pojavljivanja preovlađuju krečnjaci, a manje su zastupljeni dolomitični krečnjaci i veoma rijetko dolomiti. Pored procesa dolomitizacije na širem području ležišta ponegdje su konstatovani i slabije izraženi procesi rekristalizacije, a mjestimično se javljaju i brečasti krečnjaci, sa čestim crvenkastim siltom (rasjedne breče).

Karakteristično obilježje karbonatnih naslaga u ležištu “Platac“ jeste pojava uškrljenosti, kao posljedice prslinskog klivaža, predstavljenog sa minimum dva (ponegdje i tri) sistema paralelnih pukotina i/ili prslina, koje sijeku slojevitost pod ostrim uglom, te se duž njih stijenska masa lako cijepa i odvaja u manje monolite i blokove. Prslinski klivaž predstavlja mehaničku pojavu, odnosno sistem penetrativnih površina mehaničkog diskontinuiteta nastao u stijenama planparalelnog sklopa (slojevita tijela), a javlja se kao posledica naponskog stanja kod ubiranja ovih sedimenata i orijentisan je upravno na pravac pritiska, što stijeni daje škrljav izgled (sekundarna škrljavost-uškrljenost).

Slojeviti i bankoviti karbonatni sedimenti imaju pružanje sjeverozapad-jugoistok i generalno padaju prema sjeveroistoku sa padnim uglovima od 15 do

50°, najčešće 20 do 30°. Ukupna debljina stuba naslaga krečnjaka zastupljenih u ležištu "Platac" procijenjena je na oko 100 m.

3.2. BIOSTRATIGRAFSKE KARAKTERISTIKE

Biostratigrafska proučavanja krečnjaka ležišta "Platac" pokazala su da sadrže česte bentoske foraminifere, alge (*Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Dasycladaceae*), ehinide, rudiste (bioklasti i pojedinačne cijele forme), česte eolisakuse (*Aeolisacus kotori*), bivalvie, kao i ljušturice ostrakoda. Pojedini banci (posebno zastupljeni u sjevernom dijelu ležišta), debljine do 1 m, u gornjem dijelu paketa naslaga, predstavljaju lumakele rudista.

Na osnovu prikazane mikrofaune ovi sedimenti su određeni kao mastrihtski.

4. REZERVE I KVALITET TEHNIČKO-GRAĐEVINSKOG KAMENA

U cilju dokazivanja rezervi i kvaliteta tehničko-građevinskog kamena ležišta "Platac", vršena su, u više navrata, u različitim vremenskim periodima detaljna geološka istraživanja. Istraživanja su podrazumijevala geodetske, geološke (terenske i kabinetske) i laboratorijske radove. Na osnovu stepena istraženosti, odnosno stepena poznavanja geoloških uslova u ležištu i kvaliteta tehničko-građevinskog kamena u predmetnom ležištu su izdvojene rezerve B kategorije, sa stanjem rezervi 31.12.2017. godine (Božović, Danilović, 2018).

U narednoj tabeli (tabela 1) prikazana je struktura rezervi tehničko-građevinskog kamena u ležištu "Platac".

Tabela 1: Bilansne i eksploatacione rezerve tehničko-građevinskog kamena

R.b	Rezerve	Rezerve B kategorije, m ³
1	Geološke	2.665.014
2	Bilansne	2.665.014
3	Eksploatacione	2.398.513

4.1. FIZIČKO-MEHANIČKE KARAKTERISTIKE

Prilikom oprobavanja stijenske mase iz ležišta "Platac", u cilju utvrđivanja kvalitativnih svojstava tehničko-građevinskog kamena uzeto je, u različitim vremenskim periodima, ukupno 20 proba za ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika kamena, i to: 15 proba za kompletna i 5 proba za djelimična ispitivanja navedenih svojstava na kojima su urađene laboratorijske analize. Na osnovu rezultata navedenih ispitivanja dobijena je konačna slika o kvalitetu stijenske mase iz ležišta "Platac" (Grbalj) i njenog upotrebljivosti u tehničko-građevinske svrhe.

Srednje vrijednosti parametara fizičko mehaničkih svojstava kamena iz ležišta “Platac” date su u tabeli 2.

Prema rezultatima laboratorijskih ispitivanja, koja se odnose na mineraloško-petrografski, hemijski sastav i fizičko-mehaničke osobine, proizilazi da kvalitet karbonatnih sedimenata ležišta “Platac” zadovoljava kriterijume važećih standarda u pogledu primjene u tehničko-građevinske svrhe. Kvalitet frakcionisanog kamenog agregata potvrđuju i rezultati redovnog atestiranja frakcija kamenog agregata namijenjenog za izradu betona i za izradu asfalta.

Tabela 2: Srednje vrijednosti parametara fizičko-mehaničkih svojstava kamena

R.b	Ispitivana svojstva	Broj analiza	Srednja vrijednost
1	Čvrstoća na pritisak:		
	• u suvom stanju	20	151,65 MPa
	• u vodom zasićenom stanju	20	138,00 MPa
	• poslije 25 ciklusa smrzavanja	12	133,00 MPa
2	Otpornost na habanje brušnjem	20	16,74 cm ³ /50cm ²
3	Postojanost na mraz	15	Postojan
4	Postojanost na dejstvo Na ₂ SO ₄	20	Postojan
5	Zapreminska masa sa porama i šupljinama	20	2,647 g/cm ³
6	Zapreminska masa bez pora i šupljina	12	2,696 g/cm ³
7	Upijanje vode	20	0,27%
8	Koeficijent zapreminske mase	12	0,986
9	Poroznost (%)	12	1,35%

Obzirom na svoje fizičko-mehaničke karakteristike, mineraloško-petrografski sastav i hemijske osobine sa jedne strane i važeće tehničke propise i standarde u građevinarstvu, a oslanjajući se i na mišljenje o upotrebljivosti ispitanog kamena u Laboratoriji za kamen i agregat Instituta za IMS iz Beograda možemo konstatovati da se kamen iz ležišta “Platac” (Grbalj) može upotrebljavati za:

- proizvodnju agregata za izradu betona (po SRPS-u B.B2.009),
- proizvodnju agregata za izradu habajućih slojeva od asfaltnih betona po vrućem postupku za puteve sa srednjim, lakim i vrlo lakim saobraćajnim opterećenjem (po SRPS -u U.E4.014),
- proizvodnju agregata za klasične i savremene podloge za puteve (po SRPS -u U.E9.020),
- proizvodnju agregata za donje i gornje noseće slojeve od bituminiziranog materijala po vrućem postupku (po SRPS -u U.E9.021 i SRPS -u U.E9.028),
- proizvodnju tucanika kategorije II za zastor željezničkih pruga (po uputstvu za prijem i isporuku tucanika za zastor pruga na JŽ),

- proizvodnju lomljenog kamena i tesanika za gruba zidanja u niskogradnji i hidrogradnji, i
- za izradu temeljnog podtla za plitko temeljene objekte.

4.2. HEMIJSKE I GEOHEMIJSKE KARAKTERISTIKE KREČNJAKA

U cilju kompleksne valorizacije krečnjaka iz ležišta “Platac” izvršena su detaljna ispitivanja mogućnosti upotrebe krečnjaka kao potencijalnih punila. U tom smislu izvršena su hemijska i geohemijska ispitivanja krečnjaka, koja su urađena u “Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina“ iz Beograda. Predmetna ispitivanja su obuhvatila određivanje hemijskog sastava krečnjaka na glavne okside, kao i ispitivanje sadržaja određenih mikroelemenata (tabela 3).

Tabela 3.: Hemijske i geohemijske karakteristike krečnjaka

Komponenta	Sadržaj
CaCO ₃	98,05
CaO	54,93%
MgO	0,996%
Fe ₂ O ₃	0,0505%
Al ₂ O ₃	<0,0050%
SiO ₂	0,0332%
Na ₂ O	0,0540%
K ₂ O	0,0145%
TiO ₂	<0,020%
P ₂ O ₅	0,0280%
R ₂ O ₃	0,0280%
G.Ž.	44,78%
Cu	0,0020%
Mn	0,0004%
Ferastvorni	0,0246%
S	<0,01%
P	0,122%
Ni	0,0040%
Cr	<0,0010%
Mo	<0,0050%
Sb	<0,0025%
Pb	<0,0025
Cd	0,0006%
pH	9,45

4.3. FIZIČKO-MINERALOŠKE KARAKTERISTIKE

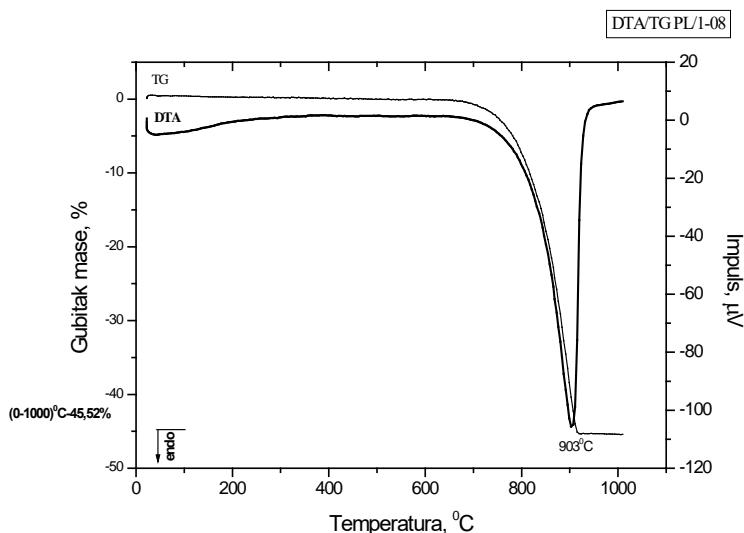
U cilju mogućnosti njihovog korišćenja kao karbonatnog punila u raznim granama industrije izvršena su i ispitivanja fizičko-mineraloških karakteristika uzoraka krečnjaka sa ležišta "Platac" koja su obuhvatila određivanje: specifične mase, bjeline, upijanje ulja, upijanje vode i DTA i DTG analize.

U tabeli 4. prikazani su rezultati ispitivanja fizičko-mineraloških karakteristika krečnjaka ležišta "Platac".

Tabela 4: Fizičko-mineraloške karakteristike krečnjaka ležišta "Platac"

Redni broj	Ispitivanja	Sadržaj, %
1	Specifična masa	2,721
2	Bjelina prema MgO-100%	76,60
3	Upijanje ulja	20,20
4	Upijanje vode	0,0

Diferencijalno termičke analize (DTA) i termogravimetrijske analize (TG) analize pokazale su da uzorci iz ležišta Plataci predstavljaju krečnjake relativno visoke čistoće (sa visokim sadržajem CaCO_3), odnosno da se radi o uzorcima sa visokim sadržajem kalcijum karbonata (slika 1).



Slika 1: Termički (DTA/TG) dijagrami uzorka krečnjaka Platac

U pogledu utvrđenih hemijskih i fizičko-mineraloških karakteristika možemo zaključiti da krečnjaci ležišta "Platac", zahvaljujući novim tehnologijama proizvodnje mogu naći primjenu kao prirodna karbonatna brašna (punila) u pojedinim granama industrije: metalurgiji, industriji gume i PVC, industriji šećera, mineralnih đubriva i za livničke svrhe, kao i u industriji boja i lakova i industriji stakla, ali za niže klase kvaliteta.

Zbog niskog sadržaja bjeline i CaCO_3 komponente, kao i povećanog sadržaja pojedinih mikroelemenata krečnjaci ležišta "Platac" ne mogu se upotrijebiti u drugim zahtjevnim granama industrije, kao što su farmaceutska i kozmetička industrija, industrija papira, proizvodnji stočne hrane i za neutralizaciju kisjelih zemljišta.

REZIME

Karbonatne sirovine (tehničko-građevinski kamen i karbonatna punila), zahvaljujući ubrzanom razvoju tehnologije i povoljnim ekološkim karakteristikama, dobijaju sve više na značaju, sa trendom stalnog proširenja njihove primjene i ekonomskog značaja (Pajović, Radusinović, 2010). Najveća koncentracija ležišta tehničko-građevinskog kamena je na Crnogorskom promorju, kao području koje se intenzivno razvija i gradi, gdje se izdvaja, kao jedno od najznačajnijih ležišta na ovom području i ležište tehničko-građevinskog kamena "Platac".

Prema dobijenim rezultatima fizičko-mehaničkih karakteristika, može se zaključiti da krečnjaci ležišta Platac imaju visoku specifičnu gustinu, kompaktni su ili niske poroznosti, imaju nisku absorpciju vode, i imaju visoke do umjereno visoke vrijednosti čvrstoće na pritisak. Prema tome, kamen ležišta Platac odlikuje se dobrim fizičko-mehaničkim svojstvima i ima široke mogućnosti primjene u građevinarstvu kao tehničko-građevinski kamen za proizvodnju agregata različitih frakcija.

Takođe, na osnovu obavljenih ispitivanja hemijskih, geochemijskih i fizičko-mineraloških karakteristika krečnjaka ležišta Platac utvrđeno je da se iz ovog ležišta, u cilju kompleksne valorizacije, mogu dobiti i punioci za mnoge grane industrije. Proizvodnjom karbonatnih punila, primjenom odgovarajućih tehnoloških rešenja, dobili bi se brojni pozitivni efekti koji bi se multiplikovali na širem planu. Osim proizvodnje tehničko-građevinskog kamena odnosno agregata različitih frakcija kao proizvoda sa niskom cijenom, korišćenjem krečnjaka kao karbonatnog punila, dobili bi se i proizvodi višeg tehnološkog nivoa prerade, čime bi se proširila paleta proizvoda koji se mogu dobiti od ovih krečnjaka, odnosno dobila bi se sirovinaska baza za prethodno navedene industrije. (Božović, Simić, 2023). Na taj način bi se postiglo kompleksno iskorišćenje ležišta, povećao se efekat uposlenosti i dobili proizvodi za mnoge grane industrije koji se u Crnoj Gori uvoze, a u slučaju relativno jeftinog transporta postojala bi i mogućnost snadbijevanja i tržišta susjednih zemalja agregatom za punila dobrog kvaliteta (Božović, Simić, 2015).

Na osnovu svega prikazanog može se zaključiti da krečnjaci ležišta "Platac" predstavljaju vrijednu karbonatnu sirovinu, koja se osim u tehničko-građevinske svrhe može upotrijebiti i kao sirovina za proizvodnju karbonatnih punila.

SUMMARY

Carbonate raw materials (technical-building stone and carbonate fillers), thanks to the accelerated development of technology and favorable ecological characteristics, are gaining more and more importance, with the trend of constantly expanding their application and economic importance (Pajović, Radusinović, 2010). The largest concentration of technical-building stone deposits is on the Montenegrin coast, as an area that is intensively developed and built, where one of the most important deposits in this area is also the “Platac” technical-construction stone deposit.

According to the obtained results of physical and mechanical characteristics, it can be concluded that the limestones of the Platac deposit have a high specific density, are compact or low porosity, have low water absorption, and have high to moderately high compressive strength values. Therefore, the stone of the Platac deposit is characterized by good physical and mechanical properties and has wide possibilities of application in construction as a technical-building stone for the production of aggregates of different fractions.

Also, based on the chemical, geochemical and physical-mineralogical characteristics of the limestone of the Platac deposit, it was determined that fillers for many branches of industry can be obtained from this deposit, with the aim of complex valorization. The production of carbonate fillers, applying appropriate technological solutions, would result in numerous positive effects that would be multiplied on a wider scale. Apart from the production of technical-building stone, i.e. aggregates of different fractions as products with a low price, using limestone as a carbonate filler, products of a higher technological level of processing would be obtained, which would expand the range of products that can be obtained from these limestones, i.e. is the raw material base for the aforementioned industries. (Božović, Simić, 2023). In this way, the complex utilization of deposits would be achieved, the effect of employment would increase and products would be obtained for many branches of industry that are imported in Montenegro, and in the case of relatively cheap transport, there would also be the possibility of supplying the markets of neighboring countries with aggregates for fillers of good quality (Božović, Simić, 2015).

Based on everything presented, it can be concluded that the limestones of the “Platac” deposit represent a valuable carbonate raw material, which, apart from technical and construction purposes, can also be used as a raw material for the production of carbonate fillers.

LITERATURA

Božović, D. 2008: *Godišnji izvještaj o izvršenim radovima po Projektu: Potencijalnost krednih krečnjaka u Crnoj Gori kao sirovine za proizvodnju karbonatnih punila*. JU Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, Podgorica.

Božović, D., 2016: *Mineragenija i potencijalnost karbonatnih sirovina rudnog reona Bjelopavlića, Crna Gora*. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu. 263 pp.

Božović, D., Danilović, I. (2018): *Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi tehničko-građevinskog kamena ležišta Platac, stanje 31.12.2017. godine*. Zavod za geološka istraživanja, Podgorica.

Božović, D., Radusinović, S., Simić, V. (2018): *Karbonatne mineralne sirovine Crne Gore/Carbonate Mineral Raw Materials of Montenegro*. Zbornik apstrakata sa 17. Kongresa geologa Srbije sa međunarodnim učešćem/Abstract proceedings from 17th Serbian Geological Congress with International Participation, Vrnjačka Banja. Izdavač/Publisher: Srpsko geološko društvo, Beograd/Serbian geological Society, Belgrade, ISBN 978-86-86053-19-0, Prošireni abstrakt, str./pp. 263-268.

Božović, D., Simić, V., 2015: *Ocjena potencijalnosti karbonatnih sirovina na području rudnog rejona Bjelopavlića*. Geološki glasnik, knj. XVI. JU Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, 143-161 str., Podgorica.

Božović, D., Simić, V., 2023: *Ležište Jovanovići-novi formacioni tip arhitektonsko – građevinskog kamena Crne Gore*. Tehnika, knj. LXXVIII. Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 159-164 str.

Pajović M., Radusinović S., 2010: *Mineralne sirovine Crne Gore, Crna Gora u XXI stoljeću u eri kompetitivnosti, životna sredina i održivi razvoj*. Posebna izdanja Crnogorske akademije nauka i umjetnosti, knj. 73, Sv. 2, str. 237-282 Podgorica.

Geološki glasnik Geological bulletin	XVIII	83 - 98	Podgorica, 2023
-----------------------------------------	-------	---------	-----------------

Mia Jovanović¹, Slobodan Radusinović², Vladimir Simić³

DOSADAŠNJA SAZNANJA O BIJELIM BOKSITIMA NA PROSTORU CRNE GORE

Apstrakt

Cilj rada je da kroz pregledan prikaz da uvid u do sada sprovedena geološka istraživanja formacije bijelih krednih boksita u Crnoj Gori. Imajući u vidu naznake ranijih i rezultate novijih istraživanja da se u kompleksnim ležištima bijelih boksita nalaze minerali nosioci pojedinih metala koji su dokumentima Evropske komisije označeni kao kritični i/ili stratejski, što je potvrđeno geohemijskim ispitivanjima, istaknuta je potreba daljih detaljnijih geoloških i tehnoloških istraživanja.

Ključne riječi: bijeli boksit, geološka istraživanja, geologija, geohemija.

CURRENT KNOWLEDGE ABOUT WHITE BAUXITES IN MONTENEGRO

Abstract

The aim of this paper is to provide an overview of geological research conducted so far on the formation of white Cretaceous bauxite in Montenegro. Considering earlier results and results of recent research, it has been noted that complex deposits of white bauxite contain minerals that serve as carriers of certain metals marked as critical and/or strategic by the documents of the European Commission.

Keywords: white bauxite, geological resarsch, geology, geochemistry.

¹,Doktorand, master geolog, Zavod za geološka istraživanja Podgorica,jovanovic.m@geozavod.co.me,

² Dr, naučni saradnik, Zavod za geološka istraživanja Podgorica, radusinovic.s@geozavod.co.me

³ Prof. dr , Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, vladimir.simic@rgf.bg.ac.rs

1. UVOD

Ležišta i pojave bijelih boksita u Crnoj Gori prostorno su vezana isključivo za Starocrnogorsku metalogenetsku subzonu koja čini jugozapadni dio metalogenetske zone Visokog krša. Na osnovu geološko-strukturnih i metalogenetskih karakteristika u ovoj subzoni Pajović (2000), izdvaja rudne rejone Zapadne Crne Gore i Čeva u kojima su formirana ležišta bijelih boksita. Rudni rejon Zapadne Crne Gore obuhvata boksitonosne terene zapadno i sjeverozapadno od Nikšića. Boksitonosni tereni između Bijelih Poljana i Nikšićkog polja na sjeverozapadu i Skadarskog jezera na jugoistoku pripadaju rudnom rejonu Čevo. Na prostorima oba rudna rejona, pored bijelih otkrivena su ležišta i pojave crvenih jurskih boksita. Rudni rejon Orjena takođe pripada Starocrnogorskoj metalogenetskoj subzoni, obuhvata širi prostor Grahova i Dragalja, a karakteriše ga prisustvo isključivo crvenih jurskih boksita (slika 1).

U geografskom pogledu navedeni boksitonosni tereni u širem smislu pripadaju Središnjoj regiji Crne Gore (Radojičić, 2008), koja zahvata prostor ograničen sa jugozapada primorskim planinama: Orjenom (1942 m), Lovćenom (1749 m) i Rumijom (1595 m), a prema sjeveroistoku visokim planinama koje čine topografsku razvodnicu između jadranskog i crnomorskog sliva: Golijom (1942 m), Vojnikom (1998 m), Lolom (2157 m), Moračkim planinama (Gradište 2253 m), Komovima (Kučki kom (2478 m), Žijovom (2141 m) i ograncima Prokletija. Izrazito duboki krš, sa svim kraškim fenomenima i oblicima reljefa (škrape, škripovi, jame, pećine, rupe, dolovi, uvale i krška polja), naročito je razvijen na prostoru zaravni dubokog krša, kojem pripadaju i rudni rejoni Zapadne Crne Gore i Čeva (Katunski krš, Grahovo, Krivošije, Rudine i Banjani). Na prostoru zapadne Crne Gore Rašović (1996), opisuje dvije morfološke cjeline: planinski i visokoplaninski dio terena koji čini sjeverni dio boksitonosnog područja i prostranu karstnu zaravan koja čini srednji i južni dio boksitonosnog područja.

2. PRIKAZ RANIJIH ISTRAŽIVANJA

Istorijski podaci i saznanja brojnih istraživača o petrografskim, stratigrafskim, tektonskim i geomorfološkim karakteristikama terena i mineralnim sirovinama Crne Gore potiču sa kraja XIX i prve polovine XX vijeka. Hronološki i sadržajno su objavljeni u monografiji Kalezića i Gomilanovića (2004). Nakon završetka Drugog svjetskog rata intezivna geološka istraživanja, fundamentalnog i primijenjenog karaktera i značaja, doprinijela su značajno industijalizaciji i razvoju Crne Gore. U poslednjih dvadesetak godina obim i vrste detaljnih geoloških istraživanja ležišta boksita praktično su svedeni na minimum, bez kontinuiteta i jasne strategije. Nešto je bolja situacija kada su u pitanju fundamentalna istraživanja zahvaljujući realizaciji tematskih geoloških istraživanja kroz izradu metalogenetsko-prognoznih karata boksitonosnih područja u Crnoj Gori (Pajović i dr., 2017; Pajović, 2021; Pljevaljčić i dr., 2019).



Slika 1. Položaj rudnih reiona sa ležištima i pojavama bijelih i crvenih boksita. Prema Pajović (2000). Osnova: Uprava za nekretnine Crne Gore (2008).

2.1. ISTORIJAT ISTRAŽIVANJA

Rašović (1996), detaljno prikazuje historijat istraživanja boksitonosnog prostora zapadne Crne Gore i konstatuje da najveće zasluge za otkrivanje bijelih boksita u Crnoj Gori, pripadaju Jovoviću i Makijedu (1925), prije kojih su za bijele boksite na ovom prostoru korišteni različiti nazivi: kaolini, tvrde gline, tufovi. Poslije Drugog svjetskog rata, u periodu od 1945. do 1970. godine, geološka istraživanja i istraživanja pojava boksita na ovom prostoru vršili su brojni istraživači, od kojih Rašović (1996), izdvaja kao izuzetno značajna istraživanja Bešića, u periodu od 1948. do 1959. godine, koji, pored ostalog, u tektonskom pogledu izdvaja Starocrnogorsku kraljušt kao posebnu geotektonsku jedinicu, potom Pavića (1949, 1958), kao i Pavića i dr. (1961) koji u predjelu Bijelih Poljana, Budoša i Broćanca izdvajaju litiotski tip lijasa koji na ovom prostoru ima razviće u vidu laporovito-krečnjačke facije. Na ovim krečnjacima formirana su ležišta bijelih boksita na širem prostoru Bijelih Poljana. Dalje navodi rad Jovanovića (1951), koji na osnovu faunističkih nalaza oolitične krečnjake Rudina i Hercegovine svrstava u gornju juru. Burić (1956), što je veoma značajno, smatra da sva ležišta bokista koji se nalaze u predjelu Bijelih Poljana, Ljeskovih doli, Broćanca, Trubjele i Budoša, treba nazivati *“kompleksna nalazišta bijelog bokista”*, jer su zastupljeni različiti tipovi boksita kako po hemijskom sastavu, tako i facijalnim promjenama. Ovaj termin se često sreće u kasnijoj literaturi o bijelim boksitima u Crnoj Gori. Dalje, značajan doprinos determinaciji stratigrafske pripadnosti karbonatanih sedimenata dala je Radoičić, od 1959. do 1968. godine, kroz mikropaleontološka ispitivanja boksitonosnog područja zapadne Crne Gore i na širem prostoru. Od ostalih Rašović (1996), izdvaja publikacije Bešić, Vuković i Cicović (1965) i Pavić i sar. (1967). Navodi i da je Dragović na prostoru Bijelih Poljana i na susjednim terenima vršio detaljna geološka istraživanja ležišta boksita sa proračunom rezervi u periodu od 1956. do 1963. godine, a da su Dragović, Marković i sar. (1984), istraživali i izvršili proračun rezervi bijelih boksita za ležišta: Lazine, Trebovinjski pod i Ravna Aluga. Takođe je Dragović (1993, 1996) vršio istraživanja i uradio Elaborate o proračunu rezervi bijelih boksita na području Jeline pećine, Paklarice, Lazina i Ravne Aluge (lokalnosti Studenac, Paprati i Dobrogled). Keçojević (2014), je uradio Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi bijelih boksita u ležištu “Poljane”.

Vujisić i dr. (1972, 1975) uradili su Osnovnu geološku kartu i Tumač za list Nikšić 1:100.000, koja obuhvata rudni rejon Zapadna Crna Gora; Antonijević i dr. (1969, 1973) za listove Kotor i Budva, na listu Kotor se nalaze rudni rejoni Orjen i Čevo; Živaljević i dr. (1967, 1973) za list Titograd, u čijem krajnjem jugozapadnom dijelu se završava prostor rudnog rejona Čevo. Pored podataka o geološkoj građi, izdvojenim geološkim jedinicama i tektonici, na kartama su prikazana a u tumačima opisana ležišta i pojave crvenih jurskih i krednih bijelih boksita, kao i formacije koje izgrađuju podinu i povlatu boksitnim formacijama.

U periodu od 1970. do 1986. godine na prostoru boksitonosnog područja Zapadne Crne Gore vršena su osnovna geološka istraživanja bijelih i crvenih

boksita sa izradom detaljnih geoloških karata. Istraživanjima su rukovodili stručnjaci Zavoda za geološka istraživanja: Kalezić (1972. i 1973. godine - Paklarica, Crveno razdolje, Paprati, Sudenac i Dobrogled); Rašović (od 1973. do 1979. godine - Katunska nahija, Budoš-Carev most, Trubjela-Brestica); Ivanović (od 1979. do 1983. godine - Crvena kita, Bajov do, Riječani i Tupan, Milovići-Lastva, Velimlje, Petovići, Perovići i Mirkovići, Trepča-Podkrite); Mirković (1985. godine). Rašović (1982), je u Tumaču za kartu mineralnih sirovina sintetizovao rezultate prethodnih istraživanja i iznio podatke o geološkom sastavu boksitonosnih terena i druge bitne podatke o geologiji i kvalitetu pojedinih pojava i ležišta boksita. U ovom dokumentu registrovano je 95 ležišta i pojava, a teren gdje su otkriveni bijeli boksiti izdvojen je kao *Boksitonosna oblast Stare Crne Gore, Banjana i Njegoša*. U okviru pomenute oblasti izdvojena su dva veća boksitonosna područja i to: *Područje Budoša, Bijelih poljana i Paklarice i Područje Rudina, Banjana i Njegoša*. U okviru ovih većih boksitonosnih područja izdvojena su manji boksitonosni prostori.

Cicmil (1984) bavio se istraživanjima metalogenije mezozojskih ležišta crvenih boksita na teritoriji jugozapadne Crne Gore. Ovaj autor boksitonosnu oblast jugozapadne Crne Gore, površine oko 6 500 km², smatra kao najkrupniju metalogenetsku jedinicu u okviru dinarske metalogenetske provincije. Kao metalogenetske jedinice nižeg reda izdvojeni su: rudni rejon, rudna polja, rudna ležišta i rudna tijela. Pajović (2000), osim podataka za crvene boksite Crne Gore daje osvrt i o geologiji i genezi formacije bijelih krednih boksita koji su konstatovani na prostoru zapadne Crne Gore.

Dragović (1988) je u knjizi „Bijeli boksiti Crne Gore“, koja predstavlja sintezu doktorske disertacije iz 1986. godine, definisao bijele boksite kao stijene alumo-silikatnog sastava, koje su obrazovane na kopnu. U zaključku navodi da su ležišta obrazovana na krečnjacima i dolomitima jure i donje krede. Smtara da su boksiti nastali u prostorima močvara i baruština pod dejstvom redukcionih uslova, da su nastali od glinovitog i klastičnog materijala crvenih boksita. Dragović u knjizi navodi da su bijeli boksiti nastali preobražajem crvenih boksita.

Pajović i Radusinović (2005), prikazuju genetski model bijelih boksita, kroz analizu faktora koji su mogli uticati na njihovo formiranje. U zaključcima navode da su ležišta bijelih boksita, formirana u baruštinama i jezerima, po čemu se razlikuju od crvenih karstnih boksita. Pretpostavljaju da je početak formiranja vodenih akumulacija vezan za sredinu barema, kada je na karstnu podlogu donešen alumosilikatni materijal, a potom spiran i akumuliran u okolne karstne depresije. Pored ostalog ističu specifičnosti ležišta boksita na području Bijelih Poljana u čijoj građi učestvuje i pretaloženi boksitni materijal koji potiče od crvenih boksita.

U preglednom radu koji se bavi pitanjem stratigrafije boksita Crne Gore Pajović i Radusinović (2015), navode da se u podini bijelih boksita nalaze karbonatne stijene lijaske (Bijele Poljane), titonske (Rudine i Jelina pećina) i berijasko-baremske (Petrovići, Velimlje, Budoš) starosti. U njihovoj podini nalaze se karbonatne stene gornjeg cenomana.

Tomašić et al. (2020), u posebnoj publikaciji realizovanog projekta REEBAUX - Prospect of REE Recovery From Bauxite and Bauxite Residue in the ESEE Region, prikazuju, obrađuju i upoređuju podatke o sadržaju i načinu pojavljivanja elemenata rijetkih zemalja u boksitnim formacijama istočne i jugoistočne Evrope i u deponijama crvenih muljeva na ovom prostoru. Pored navedenog, razmatrana su i pitanja mogućnosti primjene različitih metoda ekstrakcije REE, a izvršena je i preliminarna - uslovna ekonomska ocjena, na osnovu dostupnih podataka o sadržaju elemenata rijetkih zemalja pojedinačno i procijenjenih količina boksita odnosno crvenih muljeva.

Radusinović and Papadopoulous (2021), pored ostalog prikazuju potencijalnost boksitnih formacija u Crnoj Gori koje mogu biti izvori kritičnih sirovina (CRM) zbog sadržaja elemenata rijetkih zemalja i drugih kritičnih metala, pa tako i formacije bijelih krednih boksita.

Višegodišnji projekat Zavoda za geološka istraživanja "Izrada Metalogenetsko-prognozne karte boksitonosnog reiona Zapadne Crne Gore", u razmjeri 1:50 000, završen je 2019. godine. Geološko kartiranje je izvršeno na sekcijama razmjere 1:10 000, na osnovu kojih su u završnoj fazi projekta urađene geološka karta i prateće olate u razmjeri 1:50 000 čitavog reiona. Projektom su rukovodili S. Rašović, a potom B. Pljevaljčić, (Pljvaljčić i dr., 2019). Na finalnoj Metalogenetskoj karti predstavljene su pojave i ležišta bijelih i crvenih boksita, kao i perspektivna ležišta za detaljnija istraživanja.

Na prostoru ležišta Međeđe (kod Budoša), od strane stručnog tima Zavoda za geološka istraživanja, Podgorica, 2018. godine su izvršena osnovna a 2020/21 i detaljna geološka istraživanja. Rezultati su prikazani u izvještajima i u Elaboratu o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi bijelog boksita i tehničko-građevinskog kamena ležišta "Međeđe", opština Nikšić, stanje 31.12.2021. godine, (Radusinović i Božović, 2022).

2.2. PREGLED PRIMIJENJENIH METODA ISTRAŽIVANJA BOKSITA

U prvim godinama nakon Drugog svjetskog rata prospekcijska geološko-rudarska istraživanja u cilju otkrivanja izdanaka boksita, a potom radi utvrđivanja kvaliteta i količina boksita vršena su primjenom različitih metoda. Najčešće su izvođeni rudarski istražni radovi: okna, potkopi, uskopi, niskopi i raskopi, a kasnije i istražno bušenje.

Nakon ovog perioda uslijedila su intezivna geološka istraživanja, izrada detaljnih geoloških karata boksitonosnih područja, uz primjenu metode istražnog bušenja kao osnovne metode istraživanja, praćene laboratorijskim - hemijskim i mineraloškim, u manjem obimu i geohemijskim ispitivanjima, kao i tehnološkim ispitivanjima.

Boksit je klasičnim hemijskim metodama uglavnom ispitivan na šest standardnih komponenti (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO i G.Ž.). Mineraloška ispitivanja boksita vršena su najčešće metodama DTA i TGA, a rjeđe su vršena

rendgenska (XRD) i infracrvena (IR) ispitivanja. U posljednjim decenijama korišćena su i ispitivanja boksita pomoću mikroskopa i elektronskog mikroskopa. U manjem obimu su vršena i mikroskopska petrografsko-mineraloška ispitivanja boksita, kao i ispitivanja specifične i zapreminske mase. Tokom novijih istraživanja posljednjih godina najčešće primjenjivane metode mineraloških ispitivanja su rendgenska difrakcija (XRD) i skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM-EDS).

Ležišta i pojave bijelih krednih boksita su po vrstama primjenjenih metoda istraživanja, a posebno po obimu izvedenih istražnih radova, znatno manje istraživana u odnosu na ležišta crvenih, posebno jurskih boksita.

2.3.PREGLED PRIMIJENJENIH METODA GEOHEMIJSKIH ISTRAŽIVANJA BIJELIH BOKSITA

Burić (1966), među prvima na crnogorskim boksitima radi i prikazuje rezultate semikvantitativnih spektrohemijskih ispitivanja proba crvenih boksita iz šest ležišta i jedne probe bijelih boksita - iz ležišta Liganar. Probe boksita su analizirane na: Co, Ni, Zr, Ag, V, Pb, Mn, Ga, In, Cr, Cu, P, a u tekstu se pominju i analize na Na_2O i K_2O .

Problematikom utvrđivanja sadržaja i geohemijske raspodjele elemenata u tragovima i posebno elemenata rijetkih zemalja, ne samo na prostoru Crne Gore, već Dinarida i Mediterana, nalazimo u brojnim radovima i studijama Maksimovića, koje je objavio samostalno ili sa svojim saradnicima. Tako na primjer Maksimović (1976), ispitujući sadržaje i odnose mikroelemenata u trijaskim, jurskim i krednim boksitima pored ostalog dolazi do zaključka da boksiti iz različitih stratigrafskih nivoa imaju različite sastave matičnih stijena.

Vukotić i Dragović (1982), su proučavali šest uzoraka crvenih i osam uzoraka bijelih boksita iz Crne Gore neutronsko aktivacionom analizom i metodom masene spektrometrije. Utvrdili su da je sadržaj lantanida u crvenim boksitima veći za 2,6 puta u odnosu na bijele boksite, ustanovili različite obrasce relativne raspodjele lantanida u crvenim i u bijelim boksitima i došli su do zaključka da je stepen frakcionacije lakih prema teškim lantanidima znatno manji kod bijelih nego kod crvenih boksita. Dragović (1988) prikazuje srednji sadržaj 17 ispitivanih mikroelemenata, među kojima su Y i La, za osam genetskih tipova ležišta bijelih boksita. Ističe i da su bijeli boksiti u odnosu na crvene znatno bogatiji Li i Mo.

Pajović (2000), je izvršio obradu publikovanih i fondovskih podataka o geohemijskim karakteristikama crvenih trijaskih, jurskih i eocenskih boksita, kao i bijelih krednih boksita i potvrdio ranije rezultate istraživanja brojnih autora da su crveni boksiti u odnosu na bijele znatno bogatiji u Ni, Co, Cr, La i Y i dr., a da su bijeli obogaćeni u sadržajima Mo i Li. U knjizi je na osnovu dotadašnjih istraživanja prikazan mineraloški sastav formacija bijelih boksita gdje su kao glavni minerali izdvojeni: kaolinit i bemit, sporedni ili prateći su: gipsit, getit, hematit, anatas, kalcit, pirit, organska materija dok su akcesorni minerali: cirkon, amfibol, feldspati, piroksen, kvarc, rutil, hlorit, epidot, galenit, sfalerit, sfen, opal i drugi.

Dobijeni podaci predstavljaju sintezu podataka Dragovića (1969, 1971a, 1982, 1988, 1988a, 1990), Rašovića (1977, 1979), Ivanovića (1980, 1982a), Vorosa (1977) i Goranović (1983, 1984).

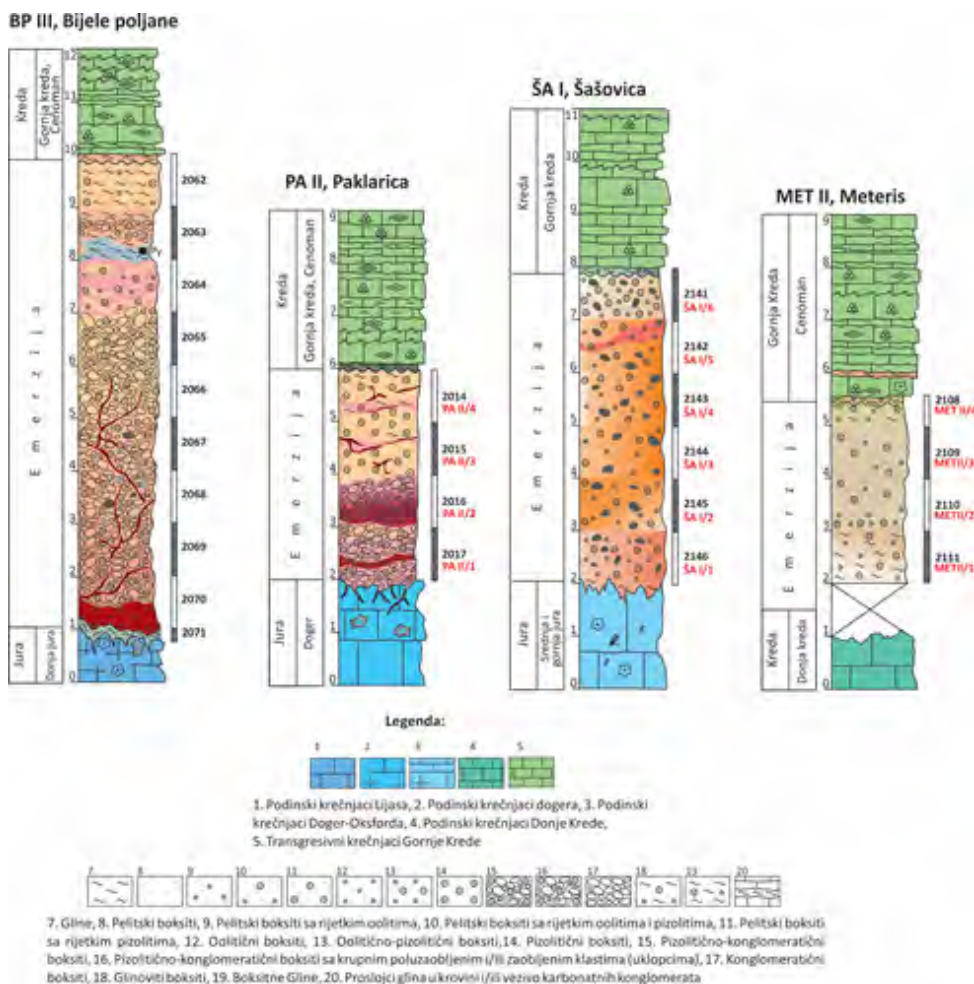
Hemijskim i geohemijskim ispitivanjima crvenih i bijelih boksita rudnog rejonu Zapadna Crna Gora (Pljevaljić i sar., 2019), kombinacijom ICP metoda: Induktivno spregnuta plazma–atomska emisiona spektroskopija (ICP-AES) i Induktivno spregnuta plazma–masena spektrometrija (ICP-MS) utvrđeno je da je prosječan sadržaj silicije veći u bijelim, a aluminijske, oksida gvožđa i kalcijuma u crvenim boksitima. Prosječni sadržaj alkalnih metala: litijuma, rubidijuma i cezijuma je veći u bijelim nego u crvenim boksitima. Prosječan sadržaj urana je dvostruko veći u bijelim boksitima, dok je sadržaj torijuma ujednačen u ispitivanim bijelim i crvenim boksitima. Prelazne metale, karakterišu uglavnom ujednačeni prosječni sadržaji Zr, Hf, Nb, Ta, W i Cu. Prosječni sadržaji V su oko 2 puta, a Mo oko 4 puta veći u bijelim u odnosu na crvene boksite. U crvenim boksitima je oko 10 puta veći prosječni sadržaj Mn, Co oko 2,5 puta, Ni oko 2 puta, Zn oko 3,5 puta i Cd oko 4,5 puta. Dalje, bijeli boksiti su u odnosu na crvene bogatiji arsenom, antimonom i selenom, dok su u crvenim u odnosu na bijele povećane koncentracije telura. Crveni jurski boksiti su u odnosu na bijele kredne boksite boksitonosnog rejonu Zapadna Crna Gora, bogatiji svim elementima rijetkih zemalja, posebno itrijumom i elementima podgrupe La, što je najviše izraženo kod La i Ce.

2.4. NOVIJA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA BIJELIH BOKSITA

Tokom realizacije projekta “Istraživanje mikroelemenata i elemenata rijetkih zemalja u ležištima karstnih boksita na prostoru zapadne Crne Gore”, koja je u toku želi se prije svega doći do saznanja o sadržaju i distribuciji elemenata rijetkih zemalja u ležištima i pojavama crvenih i bijelih boksita rudnih rejonu “Zapadna Crna Gora”, “Čevo” i “Orjen”, kao i, u manjem obimu, pojedinačnih ležišta i pojava trijaskih crvenih boksita rudnih rejonu “Piva”, “Vojnik-Maganik” i “Prekornica”. Jedan od primarnih zadataka istraživanja je ocjena potencijalnosti prostora sa aspekta pronalazjenja ekonomski značajnih rezervi boksita sa visokim sadržajem elemenata rijetkih zemalja i drugih elemenata u tragovima koji su označeni kao kritične mineralne sirovine (CRM). Ostali zadaci se ogledaju u definisanju: sadržaja, načina distribucije i koncentrisanja elemenata u tragovima, mineraloških osobenosti, sličnosti i razlika, obrazaca raspodjele, tumačenje porijekla matičnog materijala za nastanak boksita, kao i brojna druga geološka, metalogenatska i geohemijska pitanja (Radinović i dr., 2020; 2022a; 2022b; 2023).

Na prostoru rudnih rejonu Zapadna Crna Gora i Čevo izvršeno je litogeochemijsko kartiranje i oprobavanje izdanaka i rudnih tijela bijelih krednih boksita na sledećim ležištima i pojavama: Kruščice, Paklarica, Čumovica, Dobrogled, Poprat, Studenac, Trebovinjski pod, Bijele poljane, Jelina pećina, Meteris, Ljeskov kom, Lazine, Kola Bajovića, Široka ulica, Ligunar, Šašovica, Razdolje, Golubinje, Trubjela I i II, Pasji do, Trošovac, Zukva I, Zukva II, Ubao Nikolića, Podkita I i II, Pobijen kamen, Trnovac I, II i III, Cerovi do, Runjava glavica, Velika kita I i II, Milojevo korito,

Slanske strane, Žgurlini, Grabova kosa I i II, Liverovo polje, Grebnice I i II, Čista vlaka, Donje, Dubočke, Brezov do, Loparić, Gusarica, Breskavac, Kaluđerski do, Garevac, Srni do, Ječmine I i II, Sedlo Draičića I i II i Carev most (slika 2). Sve probe bijelih krednih boksita (299 uzoraka) boksita su propisno upakovane, označene i transportovane u laboratoriju za pripremu uzoraka za hemijska i geohemijska ispitivanja koja je obuhvatila grubo sušenje, vaganje, drobljenje i nakon toga fino mljevenje boksita do određene granulacije, skraćivanje i prosijavanje uzorka.



Slika 2. Detaljni geološki stubovi ležišta i pojava bijelih boksita formiranih na podinama različite starosti (Radusinović i dr. 2020, 2022a i 2022b)

Hemijska i geohemijska ispitivanja svih uzoraka boksita obavljena su klasičnim metodama i metodom ICP–AES/MS, kombinacijom ICP metoda hemijske analize:

Induktivno spregnuta plazma–atomska emisiona spektroskopija (ICP-AES) i Induktivno spregnuta plazma–masena spektrometrija (ICP-MS) uz rastvaranje uzoraka litijum boratom. Boksiti su ispitani na sadržaje 11 oksida: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃ i G.Ž.(LOI), potom sadržaj ukupnog ugljenika (TOT/C) i ukupnog sumpora (TOT/S), kao i 33 elementa: Ba, Ni, Sc, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, i dodatnih 14 elemenata po odabranom analitičkom programu: Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl i Se.

Za mineraloška ispitivanja ukupno su odabrana i metodom rendgenske difrakcije (XRD) analizirana 52 krednih boksita. Ispitivanjima metodom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM-EDS) obuhvaćeno je 26 uzoraka krednih boksita. Odabir uzoraka za mineraloška ispitivanja je izvršen nakon obrade terenskih podataka i sveobuhvatne statističke analize rezultata hemijskih i geochemijskih ispitivanja.

Ovim mineraloškim ispitivanjima je utvrđeno prisustvo sledećih minerala i grupa minerala u ispitivanim uzorcima bijelih boksita, glinovitih boksita i boksitnih glina: bemit i gipsit; getit i lepidokrokit; kaolinit, ilit i/ili muskovit i hlorit; anatas, rutil; kalcit, kao i kvarc. U krednim boksitima takođe su detektovani fosfati kao nosioci REE: monacit i ksenotim, a rjeđe i REE karbonati-Ce (Radinović i dr., 2022a,b).

3. GEOLOGIJA LEŽIŠTA I POJAVA BIJELIH BOKSITA

Na prostoru Zapadne Crne Gore otkriveno je preko 100 ležišta i pojava bijelih boksita. U metalogenetskom pogledu tereni na kojim se nalazi bijeli boksit pripadaju zoni Visokog krša, odnosno Starocrnogorskoj metalogenetskoj zoni. Prema Dragoviću (1988), dužina izdanaka bijelih boksita iznosi oko 140 km. Starost podinskih krečnjaka kreće se u rasponu od donjeg lijasa do apta.

Tokom realizacije geoloških istraživanja boksita za potrebe „Izveštaja o istraživanju mikroelemenata i elemenata rijetkih zemalja u ležištima karstnih boksita zapadne Crne Gore”, obuhvaćena su karakteristična ležišta i pojave bijelih boksita na prostoru rudnih polja: Budoš, Bijele Poljane, Trubjela, Trepča, Banjani, Crkvice-Njegoš i Krstac-Srijede. Na šezdesetpet lokacija uzeto je i analizirano 299 proba bijelih boksita, snimljeno je 69 detaljnih geoloških stubova, ukupne dužine 497 m sa 65 lokacija.

U okviru *rudnog polja Budoš* skoro u kontinuitetu mogu se pratiti izdanci bijelih boksita, od Carevog mosta u Nikšićkom polju, preko Međeđeg i Budoša – do Jeline pećine. Ležišta i pojave najčešće su slojevita i slojevito-sočivasta boksitna rudna tijela prosječne debljine do 6 m. U podini boksita se nalaze karbonatne stijene starosti od gornje jure (malm) do donje krede. Boksitna tijela su izgrađena od različitih varijeteta po boji, fizičkim i hemijskim karakteristikama, koji se mijenjaju od jednog do drugog lokaliteta, kao i u okviru istog ležišta/pojave. Ovi varijeteti se obično opisuju kao žućkasti, bijeli, rumeni, crveni boksiti i boksitne gline.

U povlati i podini bijelih boksita skoro redovno se javljaju gline. Iz ovog rudnog polja snimljeno je sedam detaljnih geoloških stubova iz različitih ležišta i pojava (pojava Carev most, Ljeskov kom, Kola Bajovića, Široka ulica, ležište Jelina pećina I, Jelina pećina II i Lazine), ukupne dužine 71 m, od čega je 43,3 m u boksitu. Prema Pajoviću (2000), srednji hemijski sastav boksita ovog područja iznosi: Al_2O_3 51,53%, SiO_2 26,02%, Fe_2O_3 3,84%, TiO_2 2,76%, CaO 0,36% i G.Ž. 14,47%, dok su prema novijim rezultatima prosječni sadržaji glavnih oksida sledeći: Al_2O_3 43,55%, SiO_2 24,64%, Fe_2O_3 11,73%, TiO_2 2,28%, CaO 0,23% i G.Ž. 15,93%, (Radusinović i dr., 2020; 2022a; 2022b).

Rudno polje Bijele Poljane izgrađuju najznačajnija ležišta bijelih boksita koja su nekoliko decenija eksploatisana a bijeli boksit korišten za potrebe vatrostalne industrije. Boksitonosni teren ovog prostora sastoji se od nekoliko prevnutih međusobno raskinutih i izrasijedanih nabora, odnosno struktura. U njihovoj podini su lijaski, dogerski i malmski krečnjaci i dolomiti. Sva ležišta i pojave bijelih boksita ovog predjela u većoj ili manjoj mjeri sadrže crvene boksite po čemu se bitnije razlikuju od ležišta okolnog prostora. Crveni boksiti se skoro u svim ležištima ispoljavaju kao pretaloženi, bilo da se javljaju u vidu konglomerata sa crvenim vezivom, ili sa vezivom od bijelih boksita i boksitnih glina. Njihovo mjesto u stubu istog ležišta je različito, a najčešće je u donjem ili u srednjem dijelu-gdje se preslojavaju sa bijelim boksitima. Bijeli boksiti i boksitne gline najčešće se javljaju u srednjem i gornjem dijelu stuba, U ovom rudnom polju nalaze se najkvalitetnija ležišta sa bijelim bemitskim boksitima i sadržajima: 50-60% Al_2O_3 , 15-20% SiO_2 i 3-8% Fe_2O_3 , dok je hemizam crvenih boksita u istim ležištima: 50-55% Al_2O_3 , 10-20% SiO_2 i 15-22% Fe_2O_3 (Pajović i dr., 2019). Kada su prisutni različiti varijeteti bijelih i crvenih boksita i glina u istom ležištu, praktično nije moguće govoriti o srednjem hemizmu ležišta, već samo o hemizmu pojedinih članova. Novijim terenskim radovima na ovom području snimljeno je sedamnaest detaljnih geoloških stubova (pojava Sedlo Draičića I i II, Čumovica, pojava Liganar I i II, ležište Dobrogled, Poprat, Studenac, Trebovinski pod, Bijele Poljane I, II, III, IV, V i VI i Paklarica I i II) ukupne dužine 159 m, a boksita ima 98m. Prosječne vrijednosti sadržaja glavnih oksida dobijene novijim istraživanjima, koje treba uzeti samo kao orjentacione, su: Al_2O_3 42,45%, SiO_2 21,89%, Fe_2O_3 15,83%, TiO_2 2,25%, CaO 0,43% i G.Ž. 15,8%, (Radusinović i sar., 2020; 2022a; 2022b).

Pojave boksita u rudnom polju *Trubjele* konstatovane su kod Slanog jezera i u predjelu Goštica. Podinu boksita čine krečnjaci jurske starosti (lijas, doger i malm). Ležišta i pojave bijelih boksita izgrađena su od žućkastih, smeđih i rumenih (sa pizolitima) facija boksitnih glina i glina, a manje bemitskih bijelih boksita koji se nepravilno smjenjuju po pružanju i padu. Za potrebe Izvještaja locirano je deset pojava i ležišta bijelih boksita (pojava, Trubjela I i II, Slanske strane, Srni do, Ječmine I i II, Razdolje, Golubinje, Šašovica i ležište Kruščice) na svim lokacijama snimljeni su detaljni geološki stubovi dužine 66,6 m, u boksitu je 34,5 m. Po hemijskom sastavu boksiti iz područja Trubjele pripadaju boksitnim glinama sa sadržajima: Al_2O_3 od 31 do 47,40%, SiO_2 od 29,32 do 48,05% i Fe_2O_3 od 2,80 do 6,40%, TiO_2 od 1,20

do 1,90% i G.Ž. od 14,7 do 15,6% (Pajović i dr., 2019). Srednji hemijski sastav ove formacije, isključujući crvene boksite, prema podacima Rašovića (1979), Burića (1966) iznosi : Al_2O_3 40-53%, SiO_2 15-25% i Fe_2O_3 5-12%. Prema Radusinović i dr. (2020; 2022a; 2022b), prosječan sadržaj glavnih oksida u 10 ispitanih lokalnosti iznosi: Al_2O_3 37,59%, SiO_2 27,4%, Fe_2O_3 14,13%, TiO_2 1,98%, CaO 0,39% i G.Ž. 16,7%.

Sjeverno od Trubjele je rudno polje *Trepča* u okviru koga su boksiti formirani na titonskim krečnjacima. Dužina boksitnih tijela je do 300 m, a debljina od 1 do 4 m. U sastavu boksitnih tijela su žutobijeli i bijeli glinoviti boksiti, bijele boksitne gline, bijelo-rumeni pizolitični boksiti. Sadrže u prosjeku oko 38% Al_2O_3 , 36% SiO_2 i 8,5% (Pajović i dr., 2019). Novijim istraživanjima obuhvaćeno je više lokacija gdje je litogehemijski kartirano petnaest detaljnih geoloških stubova (pojava Zukava I i II, Ubao Nikolića, Podkita I i II, Pobijen kamen, Trnovac I, II i III, Cerovi do, Runjava glavica, Velika kita I i II, Milojevo korito i Tročavac). Ukupna dužina stubova je 103,1 m, dok je debljina boksita u svim stubovima 47,8 m. Srednji sadržaji glavnih oksida je sledeći: Al_2O_3 36,43%, SiO_2 31,93%, Fe_2O_3 9,59%, TiO_2 2,00%, CaO 0,55% i G.Ž. 17,5% (Radinović i dr. 2020; 2022a; 2022b).

U okviru *rudnog polja Banjana* obuhvaćen je široki prostor istoimene antiklinalne strukture na čijim krilima su otkriveni bijeli kredni i crveni jurski boksiti. U podini bijelih boksita najčešće su krečnjaci gornjojurske i donjokredne starosti. U građi ležišta bijelih boksita ove rudne zone učestvuju crveni pizolitični, rumeni i žuti pizolitični i pelitomorfni, žutobijeli i bijeli boksiti, glinoviti boksiti, boksitne gline i gline, zatim sive (piritisane) i sivozelene gline (Pajović i dr., 2019). Pajović (2000), prikazuje srednji hemijski sadržaj na prostoru Banjana kako slijedi: Al_2O_3 34-46%, SiO_2 32-39% i Fe_2O_3 6-10%. Radusinović i dr. (2020; 2022a; 2022b) istraživali su boksite na sedam lokacija (pojave: Liverovo polje, Grebnice, Grebnice II, Čista vlaka, Loparići, Meteris I i II) snimili i oprobali su detaljne geološke stubove ukupne dužine 46m, od čega je 22,4 m u boksitu. Noviji rezultati su uglavnom saglasni i iznose: Al_2O_3 33,39%, SiO_2 35,64%, Fe_2O_3 8,22%, TiO_2 1,48%, CaO 0,92% i G.Ž. 17,6%, (Radinović i dr., 2020; 2022a; 2022b).

U sjeveroistočnom boksitosnom dijelu rudnog rejona Zapadna Crna Gora nalazi se rudno polje *Crkvice-Njgoš*. Na krednim krečnjacima ovih zona bijeli boksiti se najčešće ispoljavaju u vidu sivožutih, smeđih, zelenosovih boksitnih glina, mjestimične debljine do 1 m, duž eroziono-diskordantnog kontakta. Sa ovog prostora uzete su probe za geohemijska ispitivanja bijelih boksita sa šest lokacija (pojave: Brezovi do, Gusarica, Brekavac, Smrdelj, Kaluđerski do i Garevac). Na četiri lokacije su snimljeni detaljni geološki stubovi kupne dužine 20m, od čega 5,9 m u boksitu. Sredni sadržaj glavnih oksida u ovim pojavama iznosi: Al_2O_3 40,21%, SiO_2 26,67%, Fe_2O_3 7,41%, TiO_2 1,22%, CaO 2,18% i G.Ž. 17,1% (Radinović i dr., 2022a; 2022b).

Na istom prostoru kao i rudno polje *Crkvice-Njgoš* nalazi se i rudno polje *Krstac-Srijede*. Glinoviti bijeli boksiti u ovom polju nalaze se na donjokrednim krečnjacima. Prosječne su debljine oko 1,5 m, predstavljeni glinovitim boksitima

smeđe, sivozelene i sive boje. Snimljena su tri detaljna geološka stuba (pojave: Žgurlini, Grabova kosa I i II) ukupne dužine od 16m, od čega je 5,4m u boksitima. Sa ovih lokacija uzete su probe koje su analizirane i dobijeni su sledeći prosječni sadržaji glavnih oksida: Al₂O₃ 26,10%, SiO₂ 36,34%, Fe₂O₃ 7,52%, TiO₂ 1,17%, CaO 6,20% i G.Ž. 19,94% (Radusinović i dr., 2022a; 2022b).

3.1. STANJE I PROCJENA REZERVNI

Do sada je u Crnoj Gori registrovano preko 100 ležišta i pojava bijelih boksita koja se javljaju u području Budoša, Bijelih poljana, Paklarice, Rudina, Banjana i Njegoša. Iako su istraživanja bijelih boksita otpočela od davnina, a sa manjim ili dužim prekidima traju sve do danas, stepen istraženosti ležišta i pojava ove mineralne sirovine je nizak, a mogućnost njihove primjene u industriji slabo izučena. Ukupne geološke rezerve boksita A+B+C1 kategorije na ležištima Poljane (Dionice, Brijestovo osoje I i II), Lazine, Trebovinski pod, Ravna aluga i Međeđe iznose 2 496 639 t. Od toga rezervama A kategorije pripada 27 000 t, rezervama B kategorije 1 326 977 t a rezervama C1 kategorije 1 142 662 t (tabela 1).

Tabela 1: Geološke rezerve bijelih boksita po ležištima (Pajović i dr., 2019)

Ležište	Bilansne rezerve po kategorijama, (t)				Stanje rezervi
	A	B	C1	A + B+ C1	
1. Poljane	-	196 346	374 938	571 284	31.12.2013
2. Lazine	27 000	99 000	148 000	274 000	31.12.1983
3. Trebovinski pod	-	20 000	85 000	105 000	31.12.1984
4. Ravna aluga	-	-	50 000	50 000	31.12.1984
5. Međeđe (Stubica)	-	1 011 631	484 724	1 496 355	31.12.2022
UKUPNO	27 000	1 326 977	1 142 662	2 496 639	

Na ležištima bijelih boksita Lazine, Trebovinski pod i Ravna aluga usvojene su geološke rezerve sa stanjem 1983. odnosno 1984. godine, a stanje rezervi prema zvaničnim podacima do danas nije promijenjeno (Goranović, 1983). Na ležištu Poljane, koje čine tri rudna tijela: Dionice, Brijestovo osoje I i II su ovjerene rezerve sa stanjem 31.12.2013. godine, a eksploatacija se na tom ležištu odvijala do kraja 2016. godine. Od 2013. do 2016. godine prema zvaničnim podacima otkopano je 21 387 t rude bijelog boksita iz ovog ležišta. U 2018. godini Zavod za geološka istraživanja-Podgorica je izvršio osnovna geološka istraživanja bijelih boksita ležišta „Međeđe“ kod Budoša. Pozitivni rezultati osnovnih istraživanja, doveli su do potpisivanja uovor o koncesiji sa “Uniprom White Bauxite“, u junu 2020. godine. Zatim je usledila izrada Projekta detaljnih geoloških istraživanja u periodu jul 2020. godine. Detaljna geološka istraživanja su izvršena tokom 2021. i 2022. godine. Sintezom dobijenih podataka tokom 2022. godine urađen je Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi bijelog boksita i tehničko-građevinskog kamena ležišta “Međeđe“, opština Nikšić, stanje 31.12.2021. godine.

Potencijalni resursi bijelih boksita u Crnoj Gori procijenjeni na više desetina miliona tona, i to u području Budoša, Bijelih Poljana, Trubjele, Trepača, Rudina i Banjana. Takođe, u prethodnom tekstu su ukratko opisana najznačajnija ležišta u ovim područjima (rudnim poljima). Znači, resursi bijelih boksita u Crnoj Gori postoje, i mogli bi da doprinesu razvoju Crne Gore, ukoliko se riješi pitanje kompleksne valorizacije ove mineralne sirovine.

Crna Gora svakako ima interese da finansijski podrži rješavanje tehnologije kompleksne valorizacije bijelih boksita, odnosno izdvajanje posebnih tržišnih produkata od ove mineralne sirovine, čime bi se višestruko povećala njena tržišna cijena i vrijednost. U svijetlu sve većih potreba modernog društva za različitim materijalima, kao i značajnog tehnološkog napretka i razvoja novih tehnologija i proizvoda, potrebno je aktuelizovati pitanja mogućnosti oplemenjivanja, pripreme i prerade bijelih boksita i boksitnih glina i pronalaženje tehnoloških rješenja, kako bi se u cjelosti valorizovala rudna formacija bijelih boksita.

REZIME

U ovom radu prikazana su dosadašnja geološka istraživanja bijelih boksita na prostoru Crne Gore. Posljednjih dvadesetak godina obim i vrste detaljnih geoloških istraživanja ležišta boksita praktično su svedeni na minimum. Međutim od 2019. godine započinje projekat "Istraživanje mikroelemenata i elemenata rijetkih zemalja u ležištima karstnih boksita na prostoru zapadne Crne Gore", koji za cilj ima dolazak do saznanja o sadržaju i distribuciji elemenata rijetkih zemalja u ležištima i pojavama crvenih i bijelih boksita.

Istraživanje bijelih boksita je specifično jer formacije bijelih boksita su same po sebi izuzetno složene, samim tim njihovom istraživanju treba da se posveti veća pažnja, jer su veoma posebna i rijetka mineralna sirovina, a u mnogo manjoj mjeri su istražene u odnosu na crvene boksite.

Na prostoru Zapadne Crne Gore otkriveno je preko 100 ležišta i pojava bijelih boksita, koji pripadaju zoni Visokog krša, odnosno Starocrnogorskoj metalogenetskoj zoni. Potencijalni resursi bijelih boksita u Crnoj Gori procijenjeni na više desetina miliona tona, ali zbog pitanja tehnologije i mogućnosti primjene bijelih boksita, stepen istraženosti je nizak. Zbog sve većih potreba modernog društva za različitim materijalima, potrebno je riješiti pitanje mogućnosti oplemenjivanja, pripreme i prerade bijelih boksita i boksitnih glina i pronalaženje tehnoloških rješenja, kako bi se u cjelosti valorizovala rudna formacija bijelih boksita i stekla ekonomaska korist.

Budući da su novija istraživanja dala pozitivne rezultate, te da se u ležištima bijelih boksita nalaze ekonomski interesantne vijednosti minerala koji su nosioci metala koji su u dokumentima Evropske komisije prepoznati kao kritični, u budućnosti je potrebno detaljnije se posvetiti istraživanju ocjene potencijalnih prostora sa aspekta pronalaženja ekonomski značajnih rezervi bijelog boksita sa visokim sadržajem elemenata koji su označeni kao kritične mineralne sirovine (CRM).

SUMMARY

In this paper are presented the previous geological research of white bauxite in the area of Montenegro. The last twenty years, the scope and types of detailed geological research of bauxite deposits have been reduced to a minimum. However, since 2019, the project “Istraživanje mikroelemenata i elemenata rijetkih zemalja u ležištima karstnih boksita na prostoru zapadne Crne Gore” has been initiated, aim of this project is to attainment knowledge about the content and distribution of rare earth elements in deposits of both red and white bauxite.

Research on white bauxite is specific because the formations of white bauxite are inherently complex. Therefore, greater attention should be devoted to their exploration as they represent a very distinctive and rare mineral resource. White bauxites are far less explored compared to red bauxites.

In Western Montenegro, over 100 deposits and occurrences of white bauxite have been discovered, which belong to the High Karst zone, namely the Old Montenegro metallogenic zone. The potential resources of white bauxite in Montenegro are estimated to be several tens of millions of tons. However, due to technological issues and the potential applications of white bauxite, the level of exploration is low. Considering the increasing needs of modern society for various materials, it is necessary to address the question of the possibility of enrichment, preparation, and processing of white bauxite and bauxite clays. Technological solutions need to be found to fully valorize the white bauxite ore formation and achieve economic benefits.

As recent research has yielded positive results, and economically interesting mineral values that carry metals recognized as critical by the European Commission are found in white bauxite deposits, future efforts should focus on a more detailed assessment of potential areas. This involves identifying economically significant reserves of white bauxite with a high content of elements designated as critical mineral resources (CRM).

LITERATURA

- Antonijević, R., Pavić, A., Karović, J. i dr. (1973): *Tumač za OGK SFRJ, 1:100.000, za listove Kotor i Budva, K 34-50 i K 34-62*, Savezni geološki zavod, Beograd. FSD Zavoda za geološka istraživanja, Podgorica.
- Antonijević, R., Pavić, A., Karović, J. (1969): *Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, listova Kotor i Budva, K 34-50 i K 34-62*, Savezni geološki zavod, Beograd. FSD Zavoda za geološka istraživanja, Podgorica
- Burić, P., 1966: *Geologija ležišta boksita Crne Gore*. Posebna izdanja Geološkog glasnika, knj. VIII, Sarajevo.
- Cicmil, S., 1984: *Metalogenija mezozojskih ležišta crvenih boksita jugozapadne Crne Gore*; Izd. Rudnici boksita-Nikšić, Nikšić (1-134).
- Goranović, V., 1983: *Elaborat o OGI bijelih boksita između Krušnice i Ranjave vlake za 1981 i 1982 godinu*; Fond stručnih dokumenata MEIR-a, Podgorica.
- Dragović, D., 1988: *Bijeli boksiti Crne Gore*. 88 str., Nikšić.
- Kalezić, M., Gomilanović, M., 2004: *Traganje za rudama u Crnoj Gori*, CID, Podgorica
- Kecojević, V., 2014: *Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi bijelih boksita u ležištu „Poljane“*, stanje 31.12.2013. godine, Knjiga I
- Maksimović, Z., 1976a: *Genesis of some Mediteranean karstic bauxite deposits; Travaux*, ICSOBA, N-13, Zagreb, 1-14
- Pajović, M., 2000: *Geologija i geneza crvenih boksita Crne Gore*. Posebna izdanja Geološkog glasnika, knj. XVII, 200 str., Podgorica.
- Pajović, M., Mirković, M., Svrkota, R., Ilić, D., Radusinović, S., 2017: *Geologija boksitonskog rejonu Vojnik-Maganik (Crna Gora)*. Posebna izdanja Geološkog glasnika, Zavod za geološka istraživanja Crne Gore i Inženjerska komora Crne Gore, UDK: 55/56, ISSN 0435-4249, COBISS.CG-ID 37922; Knj. XXI, 339 pp.
- Pajović M., Radusinović, S., 2005: *Geneza bijelih (donjokrednih) boksita*. Zbornik radova sa 14. Kongresa geologa Srbije i Crne Gore sa međunarodnim učešćem, str. 469-476, Novi Sad.
- Pajović, M., Radusinović, S., 2015: *Stratigrafija boksita Crne Gore*. Geološki glasnik Zavoda za geološka istraživanja Crne Gore, UDK: 55/56, ISSN 0435-4249, COBISS.CG-ID 37922, Knj. XVI, 27-57.
- Pajović, M., Radusinović, S., Božović, D., Korać, M., Milić, V., Lacman, R., Smić, V., Beljić, Č., 2019: *Državni plan eksploatacije mineralnih sirovina za period 2019-2028, Crna Gora*, Ministarstvo ekonomije, 434 str., Podgorica.
- Pajović, M., 2021: *Metalogenetsko-prognozna karta boksitonskog rejonu Vojnik-Maganik (Crna Gora), metode izrade, ocjene potencijalnosti i perspektivnosti*, JU Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, posebna izdanja Geološkog glasnika, Knjiga XXII, Podgorica.

Nikolić Gojko¹, Čulafić Golub², Đurović Radovan³, Golijanin Jelena⁴, Vujović Filip⁵

SEIZMIČKE I KARTOGRAFSKE PODLOGE U FUNKCIJI PROSTORNO PLAN(ER)SKE DOKUMENTACIJE

Sažetak

Svjedoci smo sve učestalijih seizmičkih aktivnosti u regionu a i kod nas, željeli smo da ovom preglednom analizom ukažemo na značaj seizmičkih i kartografskih podloga prilikom donošenja prostorno-planske dokumentacije. Danas se u savremenom svijetu sa pravom potencira i zagovara to da se kod izbora koncepcije razvoja i predloga modela organizacije prostora na regionalnom i lokalnom nivou, fokus mora usmjeriti na metodološki okvir za izradu prostorno planerskih dokumenata - računajući i kartografske podloge, jer je to prva sigurna karika u lancu drugih mjera, koje treba preduzeti u prostornom planiranju.

Ključne riječi: zemljotresi, karografija, planski dokumenti, podloge, Crna Gora

SEISMIC AND CARTOGRAPHIC BASIS IN THE FUNCTION OF SPATIAL PLANNING DOCUMENTATION

Abstract

We are witnessing more and more frequent seismic activities in the region and in our country, we wanted to use this overview analysis to point out the importance of seismic and cartographic bases in the adoption of spatial planning documentation. Today, in the modern world, it is rightly emphasized and advocated that when choosing the concept of development and proposing models of spatial organization at the regional and local level, the focus must be on the methodological framework for spatial planning documents - including cartographic bases, because it is the first sure a link in the chain of other measures to be taken in spatial planning.

Keywords: earthquakes, carography, planning documents, base, Montenegro

¹ prof. dr, Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet Nikšić, SP geografija, e-mail: gojkorn@t-com.me

² doktorand, Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore

³ prof. dr, Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet

⁴ prof. dr, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Filozofski fakultet

⁵ doktorand, Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet Nikšić, SP geografija

1. UVOD

Dramatično iskustvo od 20 sekundi u zemljotresu od 15. aprila 1979. godine, koji je započeo u 7 časova 19 minuta i 40 sekundi, uči nas da je Seizmika kauzalna u potpunom smislu riječi! To se posebno odnosi na geoprostor Crne Gore: istorijska dokumenta nam nažalost, potvrđuju događanja više ovakvih katastrofalnih zemljotresa (1563, 1608, 1667. godine) - sa intezitetom IX i X stepeni MCS slale. U aprilski zemljotresu 1979. godine poginulo je ukupno 136 ljudi (101 lice u Crnoj Gori i 35 u Albaniji), teško je stradalo 250 naselja. Ugroženo područje je obuhvatalo 50 000 km², a nacionalni dohodak Crne Gore je bio prepolovljen, dok je 24,2% objekata bilo klasifikovano za rušenje. To je razlog što se za potrebe prostornog planiranja na ovom geoprostoru, moraju raditi cjelovita seizmička istraživanja, posebno za Crnogorsko primorje.

Kvalitet geoprostornih podataka i preciznost njihovog kartiranja u direktnoj je zavisnosti od hijerarhije i ranga prostorno planske dokumentacije. Opšti principi se odnose na to da planovi višeg reda rade se za širi teritorijalni zahvat (opština, region, država) i da je kartiranje usmjereno u pravcu seizmičke reonizacije i utvrđivanja glavnih strukturnih linija i da nivo urbanističkih planova uređenja naselja mora biti usmjereno na mikroseizmičku reonizaciju određenih urbanih zona (koje se nanose na podloge krupnijeg razmjera 1:1000, 1:2500, 1:5000).

2. METODOLOGIJA ZA SPROVOĐENJE POSTUPKA ANALIZE

Tim eksperata UN-a u okviru više asocijacija, neposredno poslije zemljotresa, boravio je u Crnoj Gori. Nihova prva sugestija i ocjena bila je da se u okviru projekta „Prostorni plan Republike i generalni urbanistički planovi gradskih naselja Crne Gore JUG/79/104“ unesu „specifične novine“ (Tabela 1), kroz izradu prostorno planerske i urbanističke dokumentacije. Ove smjernice su u metodološkom smislu imale poseban značaj za kvalitet i unapređenje kartografskih podloga i grafičke dokumentacije Plana.

Navedeni ciljevi su postupno ostvareni, prateći manjeviše dinamički plan realizacije, koji je podrazumijevao angažovanje institucija i eksperata iz različitih oblasti, na izradi i pripremi prostorno planerske i urbanističke dokumentacije. Važno je napomenuti da je tokom 1981. godine, Republička geodetska uprava obezbijedila i/ili pripremila set topografskih karata-podloga u državnom razmjernom nizu: 1:5000; 1:10000; 1:25000; 1:50000; 1:100000; 1:200000.

Tokom naredne dvije godine (1981-1982) Republički komitet za urbanizam, građevinarstvo i stambeno komunalne poslove - Titograd i Uprava projekta, organizovali su dva jugoslovenska savjetovanja o izradi prostorne i urbanističke dokumentacije u sezmičkim uslovima (Bakić i dr., 1982).

Kao što možemo da vidimo u tabeli (Tabela 1) okvirni program je predvidio tri istraživačka segmenta: hitna, regionalna i detaljna istraživanja. Kao što možemo da vidimo u tabeli (Tabela 1) okvirni program je predvidio tri istraživačka segmenta:

hitna, regionalna i detaljna istraživanja. Kao hitna i neodložna istraživanja prepoznata su pored postavljanja i osposobljavanja mreže lokalnih seizmoloških stanica i akceleroografa i aerofoto snimanje teritorije južne i srednje Crne Gore. Nažalost ova snimanja nijesu pravovremeno izvedena, pa je izostala foto dokumentacija kao potvrda opesega egzodinamičkih efekat zemljotresa na terenu), posebno imajući u vidu važnosti za uporednu analizu stanja terena i objekata, prije i poslije dejstva zemljotresa (pojava velikih klizišta, odrona itd).

Tabela 1. Preporuke u dokumentu projekta JUG/79/104

Naziv	Preporuke
Prostorni plan Republike	Izrada PP Crne Gore, prostorni planovi opština, generalni urbanistički planovi opštinskih centara, urbanistički projekti za postradala stara urbana jezgra (npr. primorski gradovi i Cetinje itd.)
Crne Gore	Predviđeno je da se u proces rada uključe eminentne urbanističke institucije iz svih jugoslovenskih republika
Saradnja i rad matičnih Institucije u Crnoj Gori i SFRJ	Poslove izrade dokumentacije organizovati na dva nivoa: <ul style="list-style-type: none"> • u opštinskim centrima • u matičnim državnim institucijama
Organizacija izrade planerske dokumentacije	Da se pri Republičkom komitetu za urbanizam, građevinarstvo i stambeno-komunalne poslove formira Uprava Projekta, koja će koordinirati ukupan proces izrade planova sa koordinacijom na opštinskim nivoima
Institucionalna podrška izradi Plana	Republička geodetska uprava je zadužena za izradu geodetsko-kartografskih pologa sa zadatim razmjernim nizom, za potrebe planerskih dokumenata
Geodetske i kartografsko-grafičke podloge	Da se uradi elaborat o seizmičkoj regionalizaciji Crne Gore, seizmičkoj mikroregonizaciji svih urbanih područja i elaborat o vulnerabilitetu objekata sa njihovom kartografskom eksplikacijom;
Seizmička regionalizacija i mikroregonizacija Crne Gore	Prostorni i urbanistički planovi da se rade u fiše faza: prikupljanje dokumentacije i (geo)informatičke podrške, izrada dokumentacione osnove, izrada baznih studija, izrada nacrtu plana, izrada osnova plana, izradapodloge plana.

Naziv	Preporuke
Faznost izrade prostorno planerske dokumentacije	Prostorni i urbanistički planovi da se rade u više faza: prikupljanje dokumentacije i (geo)informatičke podrške, izrada dokumentacione osnove, izrada baznih studija, izrada nacrtu plana, izrada osnova plana, izrada podloge plana.
Metodologija rada na prostorno planerskoj dokumentaciji	Ocjena i unapređenje metodologije seizmičkog urbanističkog planiranja – iskustva za sljedeću generaciju planskih dokumenata; Uspostavljanje nove metodologije aseizmičkog prostornog planiranja
Prostorno planerski pristup izradi dokumentacije	Procese izrade prostornih planova zasnovati na inter i multi-disciplinarnim istraživanjima resursa i potencijala
Ekspertska kontrola i recenzija planerske dokumentacije	Sprovoditi je po glavnim fazama rada: kontrola i revidentski uvid od strane Međunarodnog konsultativnog odbora i visokih eksperata UN i ex YU stručnjaka

Algoritam je podrazumijevao da se kroz regionalna istraživanja planiraju setovi od 15. kartografskih podloga, koje su neophodne za izradu prostorno-plan(er)ske dokumentacije. Faznost rada podrazumijevala je, osim analize raspoložive arhivske, fondovske i dokumentacione osnove i optimalan broj terenskih izlazaka i prospekcije radi rekognosciranja terena.

Terenskim radovima je obuhvaćeno je bilo hidrogeološko i inženjersko-geološko kartiranje, istražno bušenje i kartiranje jezgara dobijenih bušenjem (uglavnom u kvartarnim sedimentima), te uzimanje uzoraka tla i standardni opiti dinamičke penetracije (izvođenih skoro u svim bušotinama). Takođe, su rađena geoelektrična i seizmička ispitivanja, posebno za potrebe izrade karte seizmičke mikrojejonizacije.

Važno je istaći da je osim grafičke interpretacije, kartirana i određena lokacija svih istražnih bušotina i sračunata njihova položajno-visinska trijada. Program istraživanja za tematsku oblast geo(eko)logije, podrazumijevao je tri glavne grupe problema čije rješenje su urađene brojne kartografske podloge:

- sirovinska baza,
- aseizmičko planiranje,
- zaštita životne sredine.

Elaborat o seizmičkoj mikrojejonizaciji urbanih područja sadžao je takođe brojne kartografsko-grafičke podloge koje su urađene u razmjeri 1:5000 i 1:10000. Seizmička mikrojejonizacija urbanih površi opština, rađena je paralelno sa seizmičkom regionalizacijom za prostor cijele Crne Gore. Pripremljeni elaborati seizmogeoloških podloga i seizmičke mikrojejonizacije za urbana područja opština,

seizmogeoloških podloga i seizmičke mikrorajonizacije za urbana područja opština, obuhvatili su složena geotehnička, geofizička, seizmološka, hidrološka i druga istraživanja koja su pregledno sistematizovana kroz set kartografskih priloga (oleata).

Sa aspekta seizmičnosti, za potrebe urbanističkog planiranja su od posebnog značaja karte koje sadrže detaljne elemente seizmičke mikrorajonizacije i elemente podobnosti terena za izgradnju objekata (Glavatović, 2009, 2018a, 2018b).

Na sličan način je urađen Elaborat o vulnerabilitetu, za čije potrebe su pripremljene tri kartografske podloge:

- karta prostorne distribucije očekivanog vulnerabiliteta postojećih objekata;
- karta prostorne distribucije očekivanog vulnerabiliteta fonda objekata zgrada;
- karta prostorne distribucije očekivanog vulnerabiliteta postojeće regionalne infrastrukture.

Tematski setovi ovih karata i njihov sadržaj za prostorne planere, predstavljaju veoma kvalitetnu geoprostornu bazu na osnovu koje se formira predlog organizacije naselja, prostorni raspored funkcija i izbor urbanih struktura.

Naučnici sa pravom potenciraju da se kod izbor koncepcije razvoja i predloga modela organizacije prostora na regionalnom nivou, fokus mora usmjeriti na metodološki okvir za izradu prostorno planerskih dokumenata, računajući i kartografske podloge, jer je to prva sigurna karika u lancu drugih mjera koje treba preduzeti u prostornom planiranju (Bakić, 2012).

Uspostavljeni model organizacije geoprostora Crne Gore, jasno se može prepoznati sa prateće kartografsko-grafičke dokumentacije, posebno kroz format Atlasa karata i grafičkih priloga, koji su bili sastavni dio Prvog prostornog plana Republike Crne Gore (1986). Sadržaj Atlasa je predstavljen nizom tematskih setova karata u razmjeri 1:42000 (Prostorni plan, 1984).

Karta seizmičkog hazarda u Atlasu prikazuje vremenski presjek očekivanih zemljotresnih pojava u Crnoj Gori u specifikovanom povratnom periodu vremena. Seizmički hazard za teritoriju Crne Gore definisan je u više navrata primjenom različitih metodoloških pristupa, čiji rezultat su i set privremenih seizmoloških karata i podloga (1987. godina). Suštinski, svi najvažniji razvojni centri u Crnoj Gori, bili su pokriveni sa odgovarajućim prostornim planovima izrađenim na savremenim postupcima i modernoj metodologiji: aseizmičko prostorno planiranje, integralno geokološko planiranje itd.

3. REZULTATI

Otvoreno je pitanje koliko su se u daljim istraživanjima i radu baština stečena znanja i iskustva (posebno posljednja decenija XX vijeka i početak XXI vijeka) od strane planera i prostorno planerskih kuća ili opštinskih sekretarijata za urbanizam i prostorno planerske poslove - podrazumijevajući i izradu kvalitetnih kartografsko-grafičkih podloga, najčešće sa krajnje formalnim korišćenjem upustava datih kroz

elaborate o seizmičkoj mikrorajonizaciji i seizmičkom hazardu.

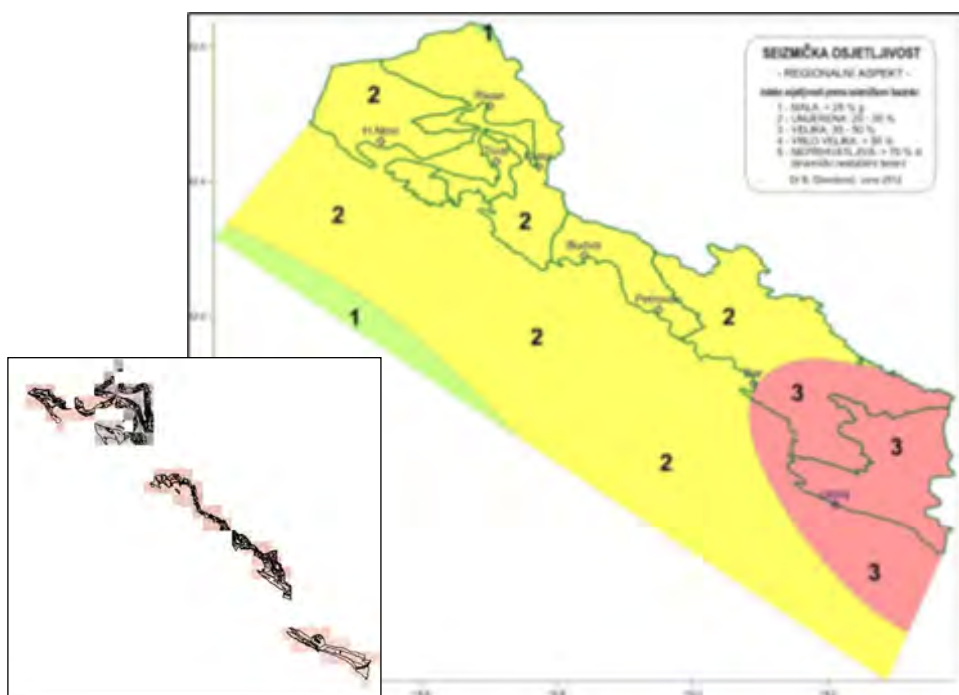
Ovdje je, takođe, važno istaći da se i zakonska obaveza primjene aseizmičkog prostornog planiranja, jasno prepoznaje, posebno u smislu utvrđivanja seizmičkog hazarda i obaveze seizmičkih istraživanja, kao i kartiranja i prikazivanja rezultata na kartografskim podlogama (shodno rangu prostornih i urbanističkih planova). Sva prostorno planerska dokumentacija na svim nivoima (nacionalni, regionalni, opštinski) u predlogu modela organizacije prostora i funkcionalne namjene površina, mora uvažavati seizmički hazard kao njihovu obaveznu odrednicu, kao i da prostorni planovi urbanističkog uređenja naselja prilikom planiranja formiranja urbanih struktura, izboru tehničkih sistema i gabarita objekata, slijede forme koje obezbjeđuju najmanji seizmički rizik (Glavatović, 2009).

Grafička i atributivna baza podataka koja je nastala kroz izradu navedenih seizmo-geoloških podloga u narednim generaciji planskih dokumenata, pokazala se kao reprezentativna atributivna i kartografska baza, čiji geopodaci imaju visok stepen tačnosti, konzistentnosti i interoperabilnosti. Sintetski karakter urađenih karata i pratećih baza geopodataka (tumači) jako je važan za dalji - viši nivo planerskih i urbanističkih rješenja (posebno karte podobnosti terena za urbanizaciju, uz obuhvatanje elemenata mikrozoniranja i karte seizmičkog hazarda), što je preporučilo da se listovi karata georeferenciraju i mozaikuju u jedinstveni GIS leyer, uz dopunu nedostajućih podataka.

Primjer značaja ovih kartografskih priloga vidimo u okviru analiza koje su rađene za seizmičku ranjivost uskog obalnog područja za potrebe CAMP projekta (Nacionalna strategija, 2015). Na osnovu sadržaja karata seizmičkog hazarda i seizmičke mikrorajonizacije izvršena je karakterizacija prostora šest crnogorskih primorskih opština, na seizmičke uticaje. Kontinuitetu izrade značajnih kartografskih podloga, pripadaju kartografski prilozi koji su rađeni za Prostorni plan Crne Gore iz 2008. godine, a u Atlasu karata u sklopu njega su dati glavni segmenti iz karti seizmičke regionalizacije i hazarda.

Metodološki postupak kako navodi Glavatović B. (2018a), podrazumijevao je superponiranje ovih rezultata sa sadržajem karte inženjersko-geološke kategorizacije, na osnovu litološkog sastava i nagiba terena, gdje je moguće na generalizovan način izraziti amplifikacionu reakciju tla na dejstvo zemljotresa i na taj način definisati opštu seizmičku osjetljivost za sumarni aspekt seizmičnosti i inženjersko-geološke karakterizacije prostora (uključujući i nagib terena, u vidu matrice indeksa integrisanog uticaja seizmičkih i inženjersko-geoloških karakteristika geoprostora).

Stepen detaljnosti grafičkog modela ranjivosti priobalne zone na taj način je usklađen sa njegovom razmjerom (Slika 1a). Takođe, je za potrebe pomenutog Projekta CAMP-a, set karata seizmičke mikrorajonizacije za svih šest primorskih opština skeniran i georeferenciran u originalnoj Gaus-Krigerovoj projekciji. Sa posebnim respektom treba posmatrati rad koji je obuhvatio mozaikovanje i integrisanje seta od 103 digitalizovane karte (1:5.000), za svih šest primorskih opština, zajedno sa digitalizovanim konturama zona seizmičke mikrorajonizacije (Slika 1b).



Slika 1. Seizmička osjetljivost Crnogorskog primorja (a) i integralna karta svih georeferenciranih i digitalizovanih parcijalnih karata seizmičke mikrojejonizacije (b)(Izvor: Glavotović B., 2012)

To je i razlog što navodimo zaključnu ocjenu izrečenu u Studiji seizmičke mikrojejonizacija za primorske opštine, gdje se navodi da ‘‘prilikom izrade prostorno-planske dokumentacije za priobalni pojas i cjelokupne teritorije primorskih opština Crne Gore, s obzirom na njihov evidentno visoki nivo seizmičkog hazarda, kao i očekivane konsekventne nivoe seizmičkog rizika, neophodno je respektovati utvrđene ocjene seizmičke ranjivosti prostora na buduća zemljotresna dejstva, posebno rezultujuće indekse ranjivosti koji su dobijeni kombinovanjem očekivanog seizmičkog dejstva i sadržaja inženjersko-geološke karte i karata seizmičke mikrojejonizacije’’ (Glavotović, 2018a).



Slika 2. Prostorna distribucija glavnih udara zemljotresa magnitude veće od 4.0 za Primorski region i okolinu
(Izvor: NATO Sfp BSHAP Project unified Mw catalogue)

Pozitivne refleksije ovakvog pristupa imamo i na regionalnom nivou: projekat ‘‘BSHAP - Harmonizovanje karata seizmičkog hazarda za zemlje zapadnog Balkana’’ 2007-2011. U sklopu ovog projekta je inovirana karta seizmičkog hazarda za prostor Crne Gore (sa pratećom GIS bazom geopodataka). Riječ je novoj generaciji seizmičkih karata, koje su ostvarene primjenom savremenih metoda statističke predikcije na bazi teorije vjerovatnoće – za cijeli zapadni Balkan, na kojima je sa visokom dozom vjerovatnoće, izražena očekivana seizmička opasnost u regionu. Seizmički hazard dat je parametrom maksimalnog ubrzanja tla na osnovnoj stijeni (PGA za tlo kategorije A sa vjerovatnoćom prevazilaženja događaja od 10% u 50 godina i 10% u 10 godina – tj. za povratni period od 475 i 95 godina, respektivno), koji je relevantan za definisanje kriterijuma tzv. ‘‘ograničenog rušenja’’ prema Eurokodu 8 (Institut za standardizaciju Crne Gore, 2015).

Na sajtu Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore - Sektor za seizmologiju (<http://www.meteo.co.me/page.php?id=99>) dat je inetraktivan pregled sa 17 banera u kojima se u formatu hiperteksta i karte, nalazi opis svih aktivnosti koje je Sektor za seizmologiju imao od svog osnivanja 1960. godine do danas. Poseban baner posvećen je seriji kartografsko-grafičkih podloga koje je Zavod uradio za posljednjih dvije decenije.

U dijelu komparativnih iskustava, analizirali smo Webportal sa interaktivnim

WebGIS-om aplikacijom Seizmološkog zavoda Srbije (www.seismo.gov.rs).

Kartografske podloge sa kartiranim seizmičkim geopodacima se na nivou lejske strukture, interaktivno mogu uključivati i isključivati i superponirati, čine ih: georeferencirani satelitski snimci (WGS84 UTM34N), OpenStreetMap, rasterske monohromatske (blanko) podloge Srbije i njenog neposrednog okruženja, naselja - tačkasti znak, gradovi-ispisan naziv i tačkasti znak, i državna granica.

Prema URL-11, WEBGIS portal tematski se sastoji od šest tematskih karata (tri+tri) koje su strukturno date u dva bloka seizmičkog hazarda: intezitet 95 godina : legenda karte 4 kategorije: intezitet 475 godina: legenda karte 4 kategorija, intezitet 975 godina: legenda karte 4 kategorija, ubrzanje 95 godina: legenda karte 4 kategorije, ubrzanje 475 godina: legenda karte 5 kategorija, ubrzanje 95 godina: legenda karte 6 kategorija i zemljotresi - epicentri: legenda karte 3 kategorije (0-4; 4-5; 5-7).

4. ZAKLJUČAK

Tekst rada obuhvata osnovne aspekte koji se odnose na uloga i vjerodostojnost prostorno planerske dokumentacije, u dijelu primjene seizmičkih i kartografskih podloga. Takođe je sagledana važnost i ekstenzija planiranja. Riječ je grafičkom konfiguratoru i(li) grafičko-matematički modelu prostornih jedinica. Geografske (geoprostorne) informacije su osnova za donošenje važnih odluka na lokalnom, i/ili nacionalnom nivou (Đurović, 2015). Uvidom u baze podataka koje su organizovane u posljednjih već više od pola vijeka, a posebno od 1979. godine primjetno je da se značajna pažnja posvećuje dokumentaciji koja prati naučna saznanja o geološkim, geofizičkim i geodinamičkim procesima, uz potenciranje tehničkog okvira seizmičke djelatnosti u Crnoj Gori (Ivanović, 1991). Rezultate prepoznamo kroz realizaciju više ključnih projekata, počev od projekta UNDP/UNESCO "Smanjenje seizmičkog rizika na Balkanu (RER 79/014), ili projekta uspostavljanje digitalne akvizicije seizmičkih signala (1990) odnosno izrade novih karata referentnog maksimalnog horizontalnog ubrzanja tla-period 95 i 475 godina-seizmički hazard Sličn je i sa procesom uvođenje standarda Eurokod 8.

Opšte stanje prostornih informacija u Crnoj Gori, karakteriše podijeljenost skupova podataka i izvora podataka. Sve to se reflektuje i na GIS baze podataka. Skupovi podataka su važno oruđe u planiranju, no često nijesu harmonizovani, dostupni javnosti, što ponekad uzrokuje prikupljanje istih podataka od strane različitih institucija, na neadekvatan i regulativom propisan način.

Na dugoj strani, Sektor za sezmologiju nacionalnog Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju, razvio je konzistentne baze podataka i saznanja o seizmotektonskim procesima geoprostora Crne Gore. Baza podataka (grafička, alfanumerička, 3D modeli) primarno je utemeljena na geopodacima dobijenim sa savremenih seizmoloških (14), akcelerografskih (12) i geodinamičkih stanica (11). Rezultat kompleksne obrade geopodataka su i karte seizmičke rejonizacije i pomenutog seizmičkog hazarda, odnosno interpretacija seizmičnosti za potrebe

prostornog planiranja i projektovanja. Po Glavatovi B. (2019) to je rezultat visokog stepena kvaliteta i pouzdanosti seizmičkog monitoringa u Crnoj Gorini, Pozitivne refleksije ovakvog pristupa imamo i na regionalnom nivou (projekat "BSHAP - Harmonizovanje karata seizmičkog hazarda za zemlje zapadnog Balkana" 2007-2011). U sklopu ovog projekta je inovirana karta seizmičkog hazarda za prostor Crne Gore (sa pratećom GIS bazom geodata).

Analiza ključnih stavova se pokazuje da su ovim kartografsko-grafičkim modelima svojstvene ne samo objašnjivačke, već i kontrolne, upravljivačke i prognostičke funkcije, koje nam istraživački omogućavaju posebno u oblasti prostornog planiranja, pomjeranje granice prema dugoročno održivim rješenjima. To je svakako obiman i važan zadatak.

SUMMARY

The text of the article comprises basic aspects related to the role and credibility of spatial planning documentation, in terms of application of seismic and cartographic bases. The importance and extension of planning has, also, been considered. It is a graphic configurator and/or a graphic-mathematical model of spatial units. Geographical (geospatial) information is the basis for making important decisions at the local and/or national level (Đurović, 2015). Looking at the databases that have been organized for more than half a century, and especially since 1979, it is noticeable that significant attention is paid to documentation that follows scientific knowledge about geological, geophysical and geodynamic processes, while strengthening the technical framework of seismic activity in Montenegro (Ivanović, 1991). We recognize the results through the implementation of several key projects, starting with the UNDP/UNESCO project "Reduction of seismic risk in the Balkans (RER 79/014), or the project establishing digital acquisition of seismic signals (1990), i.e. the creation of new maps of reference maximum horizontal ground acceleration - period 95 and 475 years-seismic hazard The introduction of the Eurocode 8 standard is similar to the process.

The general state of spatial information in Montenegro is characterized by the division of data sets and data sources. All this is reflected in GIS databases. Data sets are an important tool in planning, but they are often not harmonized and available to the public, which sometimes causes the collection of the same data by different institutions, in an inadequate and legally prescribed manner.

However, on the other side, the Seismology Sector of the National Institute for Hydrometeorology and Seismology has developed consistent databases and knowledge about seismotectonic processes in the geospace of Montenegro. The database (graphic, alphanumeric, 3D models) is primarily based on geodata obtained from modern seismological, accelerographic and geodynamic stations.

The result of complex processing of geodata are the maps of seismic rezoning and the mentioned seismic hazard, that is, interpretation of seismicity for the needs of spatial planning and design. According to Glavatova B. (2019), this is the result of a high degree of quality and reliability of seismic monitoring in Montenegro. The positive reflections of this approach have been identified at the regional level as well (project “BSHAP - Harmonization of seismic hazard maps for the countries of the Western Balkans” 2007-2011). The seismic hazard map for the area of Montenegro (with accompanying GIS geodatabase) was innovated, as a part of this project.

These cartographic-graphic models are characterized not only by explanatory, but also by control, management and prognostic functions, which enable us as researchers, especially in the area of strategic planning, to push the boundaries towards long-term sustainable solutions. This is an extensive and important task.

LITERATURA

Bakić, R. 2012: Specifična iskustva Crne Gore u planiranju prostora. Univerzitet Crne Gore, Institut za geografiju Nikšić, Nikšić, pp 94.

Bakić, R., Vukotić, M., Vučković, M., Glavatović, B., Dragašević, D., Pavićević, B., i Radulović, V. 1982: Zbornik radova sa Jugoslovenskog simpozijuma o prostornom i urbanističkom planiranju u seizmičkim uslovima. Republički komitet za urbanizam, građevinarstvo i stambeno komunalne poslove Titograd, Titograd, SFRJ, pp 1-268.

Đurović, R., 2015: Novi koncept održavanja državnog premera i katastra nepokretnosti. Doktorska disertacija (u fazi odobravanja i odbrane), Građevinski fakultet, Beograd.

Glavatović, B. 2009: Geodinamički model južnih Dinarida u kontekstu novijih geofizičkih podataka. International conference on Earthquake engineering, Banja luka, 2009, pp-87-95.

Glavatović, B. 2018a: Seizmičnost Primorskog regiona, Prostorni plan posebne namjene za obalno područje Crne Gore. Ministarstvo održivog razvoja i turizma Podgorica, pp 32-53.

Glavatović, B. 2018b: Prostorni plana Crne Gore- Prirodne karakteristike: dio Seizmološke odlike, Ministarstvo održivog razvoja i turizma, Podgorica 2018, pp-1-38.

Institut za standardizaciju Crne Gore, 2015. Eurokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija – Dio 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade – Nacionalni aneks, Podgorica.

Ivanović, S. 1991: Zemljotresi feonomeni prirode. Univerzitet “Veljko Vlahović” Titograd, Građevinski fakultet Titograd, 1991, pp-1- 210.

Nacionalna strategija integralnog upravljanja obalnim područjem Crne Gore (2015). Programa integralnog upravljanja obalnim područjem Crne Gore - CAMP CG, Ministarstva održivog razvoja i turizma i Mediteranskog akcionog plana Programa za životnu sredinu Ujedinjenih nacija (UNEP/MAP) i Centra za regionalne aktivnosti programa prioritetnih akcija (PAP/RAC), Podgorica, pp 1-263.

Prostorni plan SR Crne Gore, 1984. Mape grafičkih priloga, RZUP, Titograd, 1984.
Prostorni plan Republike Crne Gore, 2008. Ministarstvo za ekonomski razvoj
Republika Crna Gora, Montenegroinženjering Podgorica, Institut za arhitekturu i
urbanizam Srbije, Beograd, Urbanistički inštitut Republike Slovenije, Podgorica, pp
1-179.

www.seismo.gov.rs.

<http://www.meteo.co.me/page.php?id=99>

Milan Radulović¹

HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA DUŽ PLANIRANE TRASE PUTA ŠĆEPAN POLJE–PLUŽINE

Apstrakt

Dio sliva Pive, koji presijeca trasa puta Šćepan Polje–Plužine, zauzima površinu od oko 87 km². U ovom dijelu kanjona je registrovano devet karstnih vrela, od kojih je šest potopljeno vodama akumulacije. Rekonstrukcija postojećih i probijanje novih tunela na dionici puta Šćepan Polje–Plužine će se uglavom izvoditi kroz nadzidansku zonu. Postojeći tuneli su prema prisustvu infiltracionih voda podijeljeni u pet kategorija. Mjerodavni doticaj infiltracionih voda je procijenjen primjenom racionalne metode za uslove infiltracije u veoma vodopropusnim karstnim terenima.

Ključne riječi: Podzemne vode, izdan, tuneli, Piva, dionica Šćepan Polje–Plužine.

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE TERRAIN ALONG THE PLANNED ROAD ŠĆEPAN POLJE–PLUŽINE

Abstract

Part of the Piva basin, in the area of the Šćepan Polje–Plužine road, occupy around 87 km². Nine karst springs were registered in this part of the canyon. Six springs were submerged by the reservoir. The reconstruction of the existing and the breaking of new tunnels on the Šćepan Polje–Plužine section will mostly be carried out through the unsaturated zone. Existing tunnels are divided into five categories according to the presence of infiltration water. The relevant infiltration water impact was estimated using a rational method for infiltration conditions in highly permeable karst terrains.

Key words: Groundwater, aquifer, tunnels, Piva, section Šćepan Polje–Plužine.

¹ prof. dr; Univerzitet Crne Gore, Gradjevinski fakultet, radulovicmilan33@yahoo.com

1. UVOD

Za potrebe izrade Glavnog projekta rekonstrukcije magistralnog puta Šćepan Polje–Plužine i prateće dokumentacije (Procjena uticaja na životnu sredinu, Geotehnički elaborat i dr.), u decembru 2016. godine je urađena Studija o hidrogeološkim karakteristikama sliva Pive na području trase puta Šćepan Polje–Plužine (Radulović, 2016).

Studija je izrađena u cilju upoznavanja sa hidrogeološkim karakteristikama istraživanog područja i procjena doticaja podzemnih voda u projektovane tunele.

U prvom dijelu rada se daje opis klimatskih, hidrografskih, hidroloških, geomorfoloških i geoloških karakteristika slivnog područja, a u drugom dijelu su prikazane hidrogeološke karakteristike istraživanog područja i procjena doticaja podzemnih voda u projektovane tunele.

2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Istraživano područje se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Crne Gore. Razmatrana trasa puta počinje na Šćepan Polju a završava se na početku čeličnog mosta preko Pivskog jezera (Sl. 1; Sl. 3). Položaji postojećih i projektovanih objekata su prikazani na situacionom planu u Idejnom projektu rekonstrukcije magistralnog puta Šćepan Polje–Plužine (Idejni projekat, 2012).

Duž projektovane trase su izdvojena tri podsliva Pive za koje su u poglavlju 8 izvršene bilansne procjene oticaja izdanskih voda (Sl. 1; Sl. 3):

- sliv desne strane rijeke Pive za dio puta od Šćepan Polja do betonskog mosta,
- sliv lijeve strane rijeke Pive za dio puta od betonskog mosta do brane,
- sliv desne strane Pivskog jezera za dionicu od brane do čeličnog mosta preko Pivskog jezera.

3. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE

Klimatske karakteristike istraživanog slivnog područja su diktirane klimatskim faktorima kao što su: geografska širina, odstojanje od morske obale, položaj visokih planina, položaj i orijentacija kanjona Pive.

Za ovo područje je karakteristična planinska klima sa dugotrajnim hladnim zimskim periodom i kratkotrajnim ljetnjim periodom. Srednja godišnja temperatura na području Pivske planine iznosi oko 0°C, a duž kanjona Pive oko 5°C.

Srednja godišnja količina padavina za izdvojeno slivno područje iznosi oko 1350 mm (na osnovu Karta padavina i položaja meteoroloških i hidroloških stanica Crne Gore 1:300.000 iz Vodoprivredne osnove Crne Gore – VOCCG, 2001). Maksimalna količina padavina se izluči u novembru, a minimalna u avgustu.

4. HIDROGRAFSKE I HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE

Rijeke Piva i Tara predstavljaju najveće vodotoke na širem području razmatranog sliva. Rijeka Piva je kod mjesta Mratinje pregrađena lučnom betonskom branom visine 220 m (brana „Mratinje“). Uzvodno od brane je formirano Pivsko jezero ukupne zapremine 880 x 106 m³. Kota normalnog uspora Pivske akumulacije je 675 m.n.m.

Prosječni srednje godišnji protok rijeke Pive iznosi oko 75 m³/s, a rijeke Tare oko 79 m³/s. Najveći proticaji se javljaju u maju, a najmanji u avgustu. Procijenjeni stogodišnji proticaj (Q1%) za rijeku Pivu iznosi 1246 m³/s, a za rijeku Taru 1465 m³/s (Đorđević i dr. 2010). Ukupna površina sliva Pive iznosi 1784 km², a Tare 2006 km².

5. GEOMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Istražno područje bi se u geomorfološkom pogledu moglo podjeliti na dvije geomorfološke cjeline (Sl. 1):

- prostor karstne površi, i
- kanjon Pive.

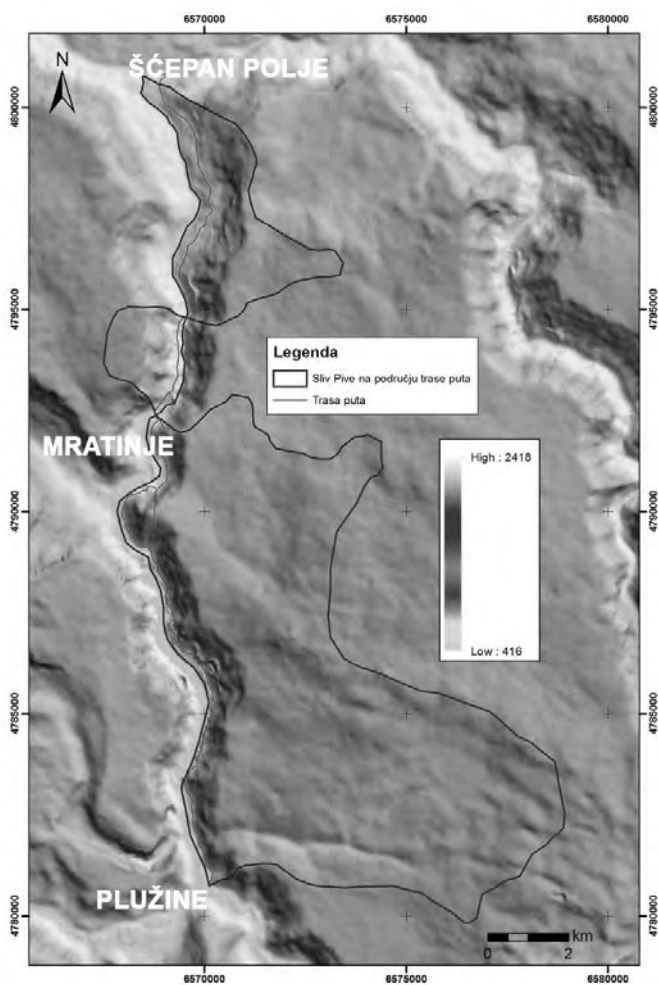
Prostor karstne površi Pivske planine i Prepeličke gore je izgrađen od veoma karstifikovanih karbonatnih stijenskih masa, tako da je razviće površinskih i podzemnih karstnih oblika impozantno. Najzastupljeniji površinski karstni oblici na slivnom području su vrtače i uvale koje prekrivaju značajan dio površine ovog terena (Sl. 2).

Kanjonske strane Pive odlikuju veliki nagibi terena. Od površinskih karstnih oblika dominiraju škrape. Krečnjaci i dolomiti u kanjonu Pive su mjestimično maskirani siparskim materijalom. Na ovom području su česti odroni stijenskih masa. Naročito velike probleme putarima zadaju nanosi snijega koji se u zimskom periodu stropoštavaju sa strmih kanjonskih strana.

Od podzemnih karstnih oblika registrovan je veliki broj jama i pećina. Jame i pećine ovog područja su detaljno opisane u monografiji „Karst Pive“ (Lješević 2004).

6. GEOLOŠKE I TEKTONSKE KARAKTERISTIKE

Kao glavna podloga za upoznavanje sa geološkom građom ovog područja korišćena je Osnovna geološka karta lista „Gacko“ 1:100.000 sa Tumačem (Mirković i dr. 1974) (Sl. 3). Za analizu geološke građe krajnjeg sjevernog dijela područja korišćen je list „Foča“ Osnovne geološke karte (Buzaljko i dr. 1980).



Slika 1. Digitalni elevacioni model šire okoline istraživanog područja

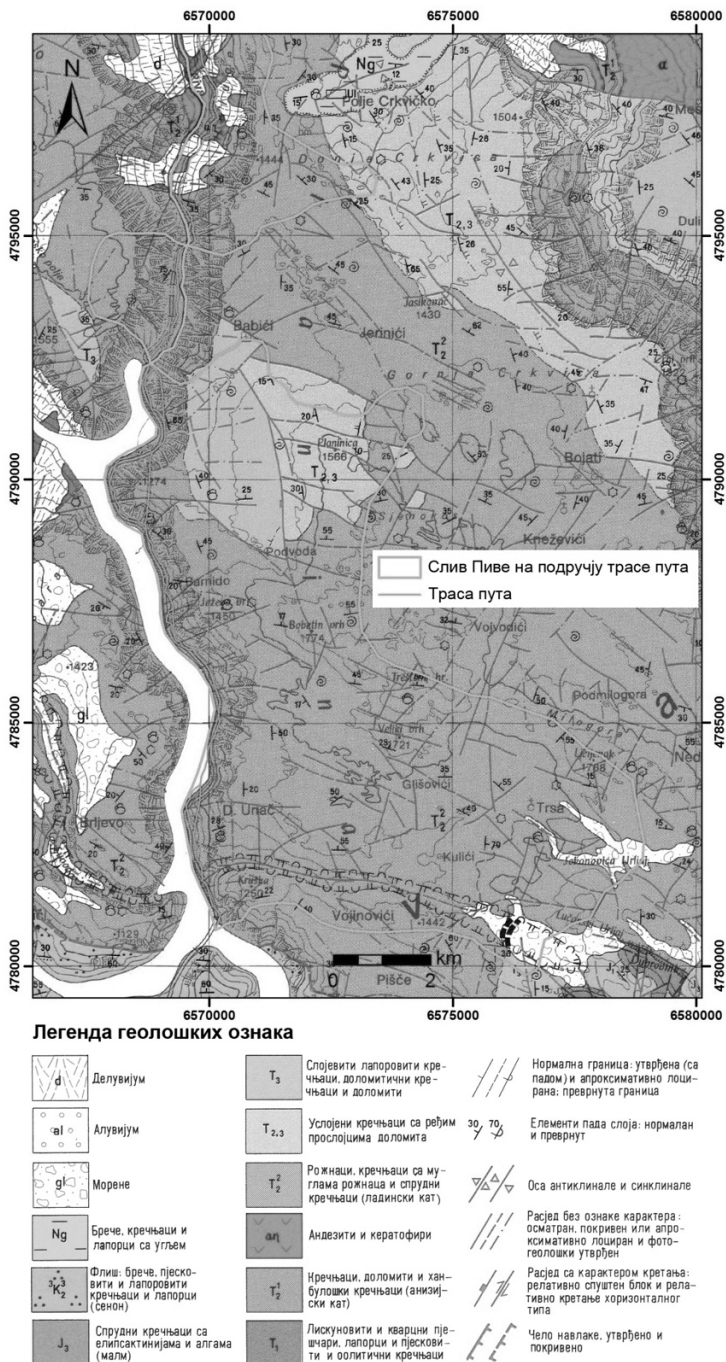
Područje razmatranog sliva je skoro u potpunosti izgrađeno od karbonatnih stijenskih masa, tačnije od krečnjaka i dolomita, a takođe su zastupljene i vulkanske stijene (andeziti i keratofiri), kao i nevezani klastični sedimenti (deluvijum i morene).

Najveće rasprostranjenje na slivnom području imaju krečnjaci sa muglama rožnaca i sprudni krečnjaci (T_2^2). U centralnom dijelu sliva, na području Pivske planine, takođe su zastupljeni slojeviti laporoviti krečnjaci, dolomitični krečnjaci i dolomiti (T_3), kao i uslojeni krečnjaci sa rjeđim proslojcima dolomita ($T_{2,3}$). Na području Paklica su zastupljeni andeziti i keratofiri ($\alpha\eta$), koji su sa zapadne strane u kontaktu sa krečnjacima, dolomitima i hanbuloškim krečnjacima (T_2^1). U jugoistočnom dijelu slivnog područja su zastupljeni morenski materijali (gl). Na području Šćepan Polja su prisutni aluvijalni sedimenti (al) ušća Pive i Tare.

Istraživani sliv pripada Durmitorskoj tektonskoj jedinici. Na ovom području je prisutan veliki broj rasjeda različitog pravca pružanja. Slojevi na ovom terenu generalno padaju prema sjeveru i istoku pod uglom od 15 do 65°.



Slika 2. Karstni tereni Pivske planine (Trsa)



Slika 3. Isječak iz Osnovne geološke karte 1:100.000 lista „Gacko“ (Mirković i dr. 1974)

7. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

7.1. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Hidrogeološka istraživanja su uglavnom novijeg datuma tj. počinju poslije Drugog svjetskog rata. U nastavku se daje osvrt samo na neka od istraživanja koja su dala najznačajniji doprinos za upoznavanje sa hidrogeološkim prilikama ovog područja.

Hidrogeološke karakteristike čitave teritorije Crne Gore su po prvi put obrađene u radu Stepanovića (1957) – Skica hidrogeoloških provincija Jugoslavije.

U periodu od 1962. do 1966. godine ovi tereni zahvaćeni su regionalnim hidrogeološkim istraživanjima u sklopu hidrogeološke studije Crne Gore i Hercegovine i (Torbarov i Radulović V., 1966). Tim radom teritorija Crne Gore i Istočne Hercegovine izdijeljena je na više manjih hidrogeoloških cjelina, a za čitavu teritoriju urađena je hidrogeološka karta razmjere 1:200 000.

Bešić (1969) izvodeći geološka istraživanja, značajno doprinosi razumijevanju i hidrogeoloških prilika u karstu Crne Gore.

Regionalnim hidrogeološkim istraživanjima (Radulović V., 1973; Burić, 1976) prikupljen je niz značajnih podataka o slivnim područjima, pravcima kretanja podzemnih voda, njihovim fizičkim i hemijskim svojstvima, a takođe su urađene hidrogeološke i hidrohemijske karte 1:100.000.

Za potrebe Prostornog plana Republike, 1982. godine je urađena Hidrogeološka karta Crne Gore 1:100.000 (Radulović M., Radulović V., Popović, 1982).

Radulović M. (2000) u okviru monografije „Hidrogeologija karsta Crne Gore” daje sintezni prikaz hidrogeoloških karakteristika karstnih terena Crne Gore.

Jednu od glavnih podloga za upoznavanje sa hidrogeološkim karakteristikama predstavlja Hidrogeološka karta Crne Gore 1:200.000 sa Tumačem (Radulović M. i Radulović V., 2004).

Veoma korisni podaci o hidrogeološkim karakteristikama istraživanog područja su dati u monografiji „Karst Pive” (Lješević, 2004) i u magistarskom radu Slavka Hrvačevića (2000) „Hidrogeološke karakteristike sliva Pive i Tare sa aspekta korišćenja i zaštite vodnog potencijala“.

Od detaljnih hidrogeoloških istraživanja naročito treba izdvojiti istraživanja koja su izvedena za potrebe projektovanja brana na Komarnici i Pivi u sklopu kojih je izveden veliki broj istražnih radova.

7.2. RASPROSTRANJENJE KARSTNE IZDANI NA SLIVNOM PODRUČJU

Karstna izdan je na slivnom području rasprostranjena u okviru zastupljenih karbonatnih stijena, ispod određenog nivoa koji je prevashodno uslovljen prostornim položajem zone isticanja.

Karbonatne stijene rasprostranjene na ovom području zauzimaju skoro stoprocentnu površinu sliva. Radi se o sljedećim kartiranim jedinicama (Sl. 3):

- Slojeviti laporoviti krečnjaci, dolomitični krečnjaci i dolomiti (T₃);

- Uslojeni krečnjaci sa rjeđim proslojcima dolomita ($T_{2,3}$);
- Rožnaci, krečnjaci sa muglama rožnaca i sprudni krečnjaci (T_2^2);
- Krečnjaci, dolomiti i hanbuloški krečnjaci (T_2^1).

Granice sliva Pive na području trase puta Šćepan Polje–Plužine su određene na osnovu geoloških, hidrogeoloških, geomorfoloških i hidroloških podataka, kao i na osnovu ranije utvrđenih hidrauličkih veza između ponora i izvora ovog područja. Površina izdvojenog slivnog područja iznosi 87,2 km².

7.3. USLOVI PRIHRANJIVANJA KARSTNE IZDANI

Na slivnom području se uglavnom odvija autogeni vid prihranjivanja, što znači da nema značajnijeg doticaja voda sa nekarstnih terena. Na većem dijelu sliva je zastupljena difuzna infiltracija voda od padavina, a povremeno, naročito u periodu topljenja snijega dolazi i do koncentrisanog poniranja voda.

Infiltracioni uslovi su izrazito povoljni na području karstne zaravni Pivske planine. Na to ukazuje prisustvo velikog broja površinskih karstnih oblika kao što su vrtače i uvale, relativno mali nagibi terena, nepovoljni temperaturni uslovi za isparavanje, kao i ogoljenost terena. Na području kanjonskih strana infiltracioni uslovi su nešto nepovoljniji s obzirom da su nagibi terena znatno veći tako da jedan dio atmosferskih voda otiče površinski.

Procjenjuje se da prosječna efektivna infiltracija na slivnom području iznosi oko 70 % od ukupne godišnje količine padavina, odnosno oko 945 mm.

7.4. FILTRACIONE KARAKTERISTIKE KARSTNE IZDANI

Imajući u vidu litološki sastav, tj. zastupljenost karbonatnih stijena sa pukotinsko-kavernoznim tipom poroznosti može se zaključiti da su filtracione karakteristike izdani relativno dobre.

Kretanje podzemnih voda se odvija uglavnom po pravcima većih pukotina i rasjeda (Sl. 3), duž kojih mogu biti formirani i podzemni geomorfološki oblici kao što su kaverne, karstni kanali, jame i pećine.

Na dobre filtracione karakteristike izdani ukazuju i velike oscilacije izdašnosti vrela na ovom području (Hrvačević, 2000), kao i srednja brzina kretanja podzemnih voda od oko 2 m/s koja je registrovana izvođenjem većeg broja opita trasiranja voda na širem području (Hrvačević, 2000).

7.5. PRAVCI KRETANJA PODZEMNIH VODA KARSTNE IZDANI

Infiltracione vode cirkulišu vertikalno naniže, od površine terena prema nivou izdani. Izdanske vode se kreću od zone prihranjivanja (karstna površ Pivske planine i Prepeličke gore) prema koritu rijeke Pive, duž kojeg dolazi do isticanja karstnih vrela. Dakle, generalni pravac kretanja izdanskih voda na slivnom području desne strane Pive je istok-zapad, a na slivnom području lijeve strane zapad-istok.

Za potrebe određivanja prostornog položaja vododelnica i utvrđivanja pravaca kretanja podzemnih voda izuzetno su korisni podaci ranije izvedenih istraživanja na širem području sliva.

Lješević (2004) pretpostavlja da postoji hidraulička veza između Todorove jame koja se nalazi na istočnom podnožju Bobetinog vrha i izvora Međeđak. Isti autor navodi da postoji veza između ponora u Ridinom dolu i izvora Vrutak koji se nalazi sa desne strane Pive u blizini mjesta Krstac (na oko 3 km uzvodno od mosta preko Pivskog jezera).

7.6. USLOVI ISTICANJA PODZEMNIH VODA IZ KARSTNE IZDANI

Karstna izdan se uglavnom prazni preko nekoliko izvora koji su raspoređeni duž kanjona Pive. To su izvori Međeđak, Nozdruč i Marića česma. Osim koncentrisanog isticanja voda preko vrela, dio karstne izdani se difuzno praznio preko aluviona u koritu Pive. U nastavku je osim pomenutih izvora opisano i Kaluđerovo vrelo, koje ne drenira ni jedno od izdvojenih podslivova, ali s obzirom da se radi o jednom od najvećih izvora susjednog podsliva, ovdje se daje i njegov opis. Položaji izvora su prikazani na karti u prilogu Studije (Radulović, 2016).

Izvor Međeđak je isticao sa desne strane Pive, u zoni ispod postojećeg tunela 43. Izvor se pojavljivao na nadmoskoj visini od oko 575 m.n.m. Ovo karstno vrelo je danas potopljeno vodama Pivske akumulacije. Radi se o uzlaznom (voklijskom) tipu vrela koje je isticalo iz ljevkastog udubljenja dubine od preko 15 m (Lješević, 2004). U ljetnjem periodu izdašnost izvora iznosi oko 0,5 m³/s, a u vrijeme kada su izrazito velike suše dešava se da dođe do povremenog presušivanja vrela kada ono funkcioniše kao intemitentni izvor–mukavica (Lješević, 2004). Temperatura izvorske vode je iznosila oko 7-8 °C (Lješević, 2004).

Izvor Nozdruč je jedno od najsnažnijih karstnih vrela u sjevernom dijelu Crne Gore. Nalazi se sa desne strane korita Pive na oko 5 km uzvodno od brane „Mratinje“, u zoni ispod postojećeg tunela 34. Isticalo je na koti od oko 550 m.n.m. tako da se danas nalazi ispod nivoa Pivskog jezera. Radi se o gravitacionom tipu izvora čije je mjesto isticanja bilo maskirano siparskim materijalom. Izdašnost ovog vrela u hidrološkom minimumu iznosi preko 1 m³/s (Hrvačević, 2000). Temperatura izvorske vode na ovom izvoru je u ljetnjem periodu iznosila 6,1 °C (Lješević, 2004).

Kaluđerovo vrelo ističe sa desne strane korita Pive na oko 2,7 km nizvodno od brane. Isticanje je razbijeno u dva nivoa. Gornji karstni kanal je sifonskog oblika, a donja zona isticanja je maskirana drobinskim materijalom (Lješević 2004). Kota donje zone isticanja je oko 500 m.n.m., a gornjeg kanala oko 510 m.n.m. Izdašnost u ljetnjem periodu kada presuši gornji dio izvora iznosi oko 0,4 m³/s, a u zimskom periodu oko 1,7 m³/s (Lješević, 2004). Temperatura izvorske vode na ovom vrelu iznosi 8,6 °C (Hrvačević, 2000).



Slika 4. Kaluđerovo vrelo koje ističe sa desne strane Pive (fotografisano sa betonskog mosta)

Izvor Marića česma se nalazi pored magistralnog puta na oko 1,3 km nizvodno od betonskog mosta na Pivi. Na samom izvoru je izrađena česma, a dio voda je kaptiran za potrebe vodosnabdijevanja Šćepan Polja (Sl. 5). Radi se o izvoru relativno male izdašnosti koja iznosi svega nekoliko l/s.



Slika 5. Kaptiža na izvoru Marića česma

Na području karstne zaravni Pivske planine, izvori su veoma rijetki, čak i ako se kratkotrajno pojave, radi se o izvorima veoma male izdašnosti.

7.7. HIDROHEMIJSKA SVOJSTVA VODA KARSTNE IZDANI

Izdanske vode ispitivanog područja se odlikuju relativno dobrim fizičkim i hemijskim svojstvima. Povremeno, u periodima intenzivnog prihranjivanja, može doći do zamućenja vode, čime se njihova fizička svojstva bitno mijenjaju.

Prema hemijskom sastavu radi se o vodama hidrokarbonatne klase, kalcijumske grupe. Prema opštoj tvrdoći (po Klutu) uglavnom pripadaju kategoriji mekih voda (Hrvačević, 2000). pH vrijednost podzemnih voda iznosi oko 7,0-7,2 (Hrvačević, 2000).

7.8. BILANS KARSTNE IZDANI

U ovom poglavlju se daje procjena bilansnih elemenata karstne izdani na izdvojenim podslivovima. Kao ulazni bilansni parametar uzima se srednja efektivna infiltracija na razmatranom slivnom području, a kao izlazni element bilansa uzima se ukupno srednje godišnje isticanje podzemnih voda duž kanjona Pive ispod projektovanog puta (od Šćepan Polja do čeličnog mosta preko Pivskog jezera) (Tabela 1).

Tabela 1. Tabela prikaz elemenata bilansa karstne izdani za izdvojene podslivove na dionici od Šćepan Polja do čeličnog mosta preko Pivskog jezera

Sliv	A (km ₂)	P (mm)	I _{ef} (%)	Q (m ³ /s)
Sliv desne strane rijeke Pive za dionicu od Šćepan Polja do betonskog mosta	11,7	1350	70	0,35
Sliv lijeve strane rijeke Pive za dionicu od betonskog mosta do brane	3,9	1350	70	0,12
Sliv desne strane Pivskog jezera za dionicu od brane do čeličnog mosta	71,6	1350	70	2,15
Ukupno	87,2	1350	70	2,62

A – površina sliva,

Q – srednji višegodišnji proticaj,

P – srednje višegodišnje padavine,

I_{ef} – efektivna infiltracija.

Procjenjuje se da isticanje podzemnih voda na karstnim vrelima u periodu velikih voda može iznositi i preko 30 m³/s. Ovdje treba naglasiti da se podzemno dreniranje izdvojenih podslivova uglavnom odvija ispod nivoa postojećeg i projektovanog puta kao što je to opisano u poglavlju 9.

7.9. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ZBIJENE IZDANI

Zbijena izdan koja je formirana u okviru nevezanih klastičnih materijala (zaglinjene drobine, šljunka, pijeska) ima ograničeno rasprostranjenje na istraživanom području. Zbijena izdan je prisutna na Šćepan Polju u okviru aluvijalnih sedimenata na ušću Pive i Tare, kao i u okviru deluvijalnih sedimenata koji se pojavljuju na nekoliko lokacije sa desne strane puta.

Zbijena izdan Šćepan Polja se u periodu velikih voda prihranjuje doticajem iz podinske karstne izdani, a u periodu malih voda infiltracijom voda Pive i Tare. Nivo podzemnih voda ove izdani je uglavnom diktiran oscilacijama vodostaja Pive i Tare, i približno odgovara nivou ovih rijeka.

Sa lijeve strane razmatrane dionice puta se na nekoliko lokacija pojavljuju deluvijalni sedimenti koji su u kišovitom periodu natopljeni vodom (Sl. 6). Voda do ovih sedimenata dopijeva slivanjem sa površine terena, kao i doticajem iz podinskih krečnjaka i dolomita. Prilikom rekonstrukcije je potrebno voditi računa da se spriječi doticaj voda u deluvijalne sedimente i da se uspostavi adekvatno dreniranje ovih lokacija kako ne bi dolazilo do narušavanja stabilnosti kosina.



Slika 6. Deluvijalni sedimenti natopljeni vodom na području ulaznog portala tunela 38

8. PROCJENA DOTICAJA VODA U PROJEKTOVANE TUNELE

Rekonstrukcija postojećih i izvođenje novih tunela na dionici Plužine-Šćepan Polje će se uglavnom izvoditi kroz nadizdanku zonu, tj. kroz vodom nezasićene stijene koje se nalaze iznad regionalnog nivoa podzemnih voda (Sl. 7). U ekstremnim meteorološkim uslovima se osim infiltracionih voda eventualno može očekivati i prodor izdankih voda, naročito ako je još i visok vodostaj Pivske akumulacije koji uslovljava ravnomjerno podizanje nivoa podzemnih voda u karstnom zaleđu. Međutim, s obzirom da se projektovani tuneli nalaze na oko 20-30 m iznad kote

normalnog uspora Pivske akumulacije (675 m.n.m.) nije realno očekivati da se takva pojava može često dešavati (službenici zaduženi za praćenje stanja na ovom dijelu puta su povremeni priliv izdanskih voda registrovali jedino u postojećem tunelu 35 sa kotom nivelete 695 m.n.m.). Prilikom izvođenja novih tunela (tuneli 20, 26, 36, 40, 46 i dr.) se može desiti da dođe do presjecanja pećinskih kanala iz kojih vode mogu koncentrisano doticati u projektovane podzemne objekte. Imajući u vidu da se radi o karstnim terenima sa veoma složenim hidrogeološkim karakteristikama teško je dati pouzdaniju procjenu o prilivu izdanskih voda u projektovane tunele.

U narednom dijelu poglavlja se daju procjene doticaja infiltracionih voda (pod infiltracionim vodama se podrazumjevaju vode koje dotiču u tunel sa površine terena nakon infiltracije atmosferskih voda, a pod izdanskim vodama se podrazumijevaju vode koje bi eventualno doticale u tunel nakon podizanja nivoa podzemnih voda iznad kote nivelete tunela; Sl. 7).



Slika 7. Skicirani presjek preko desne kanjonske strane rijeke Pive sa prikazom pećina raspoređenih na različitim visinama; crtež nije u razmjeri (modifikovano Lješević, 2004)

U cilju kategorizacije tunela na osnovu prisustva infiltracionih voda i sagledavanja mjerodavnih doticaja infiltracionih voda u projektovane tunele izvršena su osmatranja infiltracionih uslova u postojećim tunelima (Tabela 2). Osmatranja su obavljena 16.07.2016. godine nakon jednodnevnih padavina u količini od oko 15 l/m², i 09.12.2016. godine.

Postojeći tuneli su prema prisustvu infiltracionih voda podijeljeni u pet Δ RMR5 kategorija (Bieniawski, 1974):

- Potpuno suve pukotine (Δ RMR5 = 15),
- Samo vlažna pukotina (Δ RMR5 = 10),
- Natopljena pukotina (Δ RMR5 = 7),
- Voda kaplje iz pukotine (Δ RMR5 = 4),
- Voda teče iz pukotine (Δ RMR5 = 0).

Vrijednost $\Delta RMR5$ za projektovane tunele je procijenjena na osnovu osmatranja u postojećim tunelima koji se nalaze na trasi ili su najbliži trasi projektovanog tunela (Tabela 4). Za projektovane tunele je usvojena srednja vrijednost $\Delta RMR5$ faktora najbližih postojećih tunela.

Mjerodavni doticaj infiltracionih voda je procijenjen primjenom racionalne metode za uslove infiltracije u veoma vodopropusnim karstnim terenima (Tabela 3). Ukupna količina kišnice koja može da se infiltrira u podzemlje i dospije do projektovanih tunela je procjenjivana na osnovu sljedeće formule:

$$Q = C \times i \times A$$

C – infiltracioni koeficijent (-),

I – intenzitet kiše (l/s/ha),

A – infiltraciona površina (ha).

Tabela 2. Kategorizacija projektovanih tunela prema prisustvu infiltracionih voda ($\Delta RMR5$) izvedena na osnovu osmatranja u postojećim tunelima (osmatranja su izvršena 16.07.2016. i 09.12.2016. godine)

Broj postojećeg tunela	Kategorija tunela prema prisustvu infiltracionih voda	Vrijednost $\Delta RMR5$ za postojeće tunele	Broj projektovanog tunela	Procijenjena vrijednost $\Delta RMR5$ za projektovane tunele
1.	Potpuno suve pukotine	15	1	12.5
2.	Samo vlažna pukotina	10		
3.	Voda kaplje iz pukotine	4	2	4
4.	Samo vlažna pukotina	10	3	10
5.	Samo vlažna pukotina	10		
6.	Samo vlažna pukotina	10		
7.	Voda kaplje iz pukotine	4	4	6.25
8.	Natopljena pukotina	7		
9.	Natopljena pukotina	7		
10.	Natopljena pukotina	7		
11.	Natopljena pukotina	7	6	7
12.	Samo vlažna pukotina	10	7	8.5
13.	Natopljena pukotina	7		
14.	Natopljena pukotina	7	8	7
15.	Samo vlažna pukotina	10	9	10
16.	Samo vlažna pukotina	10		
17.	Voda teče iz pukotine	0	10	2
18.	Voda kaplje iz pukotine	4		
19.	Voda kaplje iz pukotine	4	11	4
20.	Voda kaplje iz pukotine	4	20	4.75

Hidrogeološke karakteristike terena duž planirane trase puta Ščepan Polje – Plužine

21.	Voda kaplje iz pukotine	4		
22.	Voda kaplje iz pukotine	4		
23.	Natopljena pukotina	7		
24.	Voda kaplje iz pukotine	4	24	4
25.	Voda kaplje iz pukotine	4	25	4
26.	Voda teče iz pukotine	0		
27.	Natopljena pukotina	7		
28.	Natopljena pukotina	7		
29.	Voda kaplje iz pukotine	4		
30.	Natopljena pukotina	7	26	5.9
31.	Samo vlažna pukotina	10		
32.	Natopljena pukotina	7		
33.	Natopljena pukotina	7		
34.	Voda kaplje iz pukotine	4		
35.	Voda kaplje iz pukotine	4	34, 35	4
36.	Voda kaplje iz pukotine	4	36	5.5
37.	Natopljena pukotina	7		
38.	Samo vlažna pukotina	10	38	10
39.	Voda kaplje iz pukotine	4	39	4
40.	Voda kaplje iz pukotine	4	40	4
41.	Voda kaplje iz pukotine	4		
42.	Voda kaplje iz pukotine	4	42, 42'	4
43.	Voda teče iz pukotine	0	43	2
44.	Voda kaplje iz pukotine	4		
45.	Voda teče iz pukotine	0	45	0
46.	Voda kaplje iz pukotine	4		
47.	Voda teče iz pukotine (Sl. 8)	0	46	2
48.	Voda kaplje iz pukotine	4		
49.	Voda teče iz pukotine	0		
50.	Natopljena pukotina	7	50	7
51.	Natopljena pukotina	7	51	7
52.	Potpuno suve pukotine	15	52	9.5
53.	Voda kaplje iz pukotine	4		
54.	Natopljena pukotina	7	54	7
55.	Voda kaplje iz pukotine	4	55	7
56.	Samo vlažna pukotina	10		

Za intenzitet kiše je preuzeta vrijednost iz Tehničkog izvještaja uz Idejni projekat rekonstrukcije magistralnog puta od Paklica do mosta na Pivskom jezeru (str. 7) gdje je za mjerodavnu kišu izabrana 60-minutna kiša intenziteta 200 l/s/ha.

Procijenjeno je da Infiltraciona površina obuhvata pojas od po 5 m od osovine tunela sa obje strane (ukupno 10 m).

Infiltracioni koeficijent u karstnim terenima Crne Gore se najčešće kreće u intervalu od 0,4 do 0,8. Ova vrijednost je za projektovane tunele procijenjena na osnovu osmatranja izvršenim u postojećim tunnelima, tj. na osnovu procijenjenih $\Delta RMR5$ vrijednosti (Tabela 2). Za slučaj potpuno suvih pukotina je usvojena vrijednost 0,4, a za slučaj tečenja vode iz pukotina je usvojena vrijednost 0,8 (Tabela 3).

U Tabeli 3 su prikazani procijenjeni maksimalni dotoci infiltriranih voda u projektovane tunele. Najveće prilive je realno očekivati u najdužim tunnelima (20, 26, 43 i 46). Za te tunele je procijenjeno da se na cijeloj dužini tunela može maksimalno infiltrirati oko 100-200 l/s vode. Međutim, ukoliko su infiltracione površine veće od procijenjenih, npr. ukoliko se sliv eventualnog pećinskog kanala pruža van procijenjenog pojasa infiltracije, tada je u hidrološkom maksimumu moguće očekivati i veće količine voda od procijenjenih vrijednosti iz Tabele 3.

Prilive infiltracionih voda je najrealnije očekivati na mjestima gdje rasjedi i veće pukotine presjecaju trase tunela (Sl. 3). Duž rasjeda su često razvijeni i podzemni karstni kanali koji imaju veću propusnu moć tako da na tim mjestima može dolaziti i do koncentrisanog isticanja podzemnih voda.



Slika 8. Postojeći tunel 47 – „ledeni tunel“ (tečenje vode u centralnom dijelu tunela gdje se u periodu veoma niskih temperatura može stvoriti široka ledenica od kalote do asfalta; zbog ove pojave je često prekidano saobraćaj na ovoj dionici)

Na desnoj kanjonskoj strani rijeke Pive i Pivskog jezera pećine su prisutne na različitim visinama. Sa skiciranog profila (Sl. 7) se može vidjeti da su na području tunela 43 prisutna tri nivoa pećina. Neposredno ispod odsjeka karstne površi se nalazi najvišiji nivo pećina (Tisa). Sljedeći nivo se nalazi iznad nivelete projektovanog

puta (Toplica), a najniži nivo se nalazi na nivou karstnih vrela Međeđak i Nozdruč. Lješević (2004) vjeruje da gornji nivoi pećina predstavljaju nekadašnje nivoe isticanja podzemnih voda (nekadašnje izvore), u periodu prije spuštanja izdani na današnji nivo koji je potopljen vodama Pivske akumulacije. Pećine koje se nalaze na najvišojem nivou su u današnjim uslovima potpuno suve, tj. iz njih ne dolazi do isticanja podzemnih voda. Pećine najnižeg nivoa predstavljaju stalne karstne izvore iz kojih voda ističe tokom cijele godine, a pećine srednjeg nivoa bi možda mogle da predstavljaju mjesta povremenih karstnih vrela koja se pojavljuju jedino u periodu ekstremnih padavina. Ako iz pećina srednjeg nivoa u ekstremnim meteorološkim uslovima dolazi do isticanja podzemnih voda, to bi značilo da u takvim uslovima može dolaziti i do povremenog priliva većih količina vode u projektovane tunele. S obzirom da izostaju dugoročnija osmatranja, o ovom pitanju je veoma teško pouzdano govoriti.

Na osnovu kazivanja službenika zaduženih za praćenje stanja na ovom dijelu puta, u postojećem tunelu 35 povremeno dolazi do pojavljivanja izvora iz lijevog rigola na stacionaži 11+410 (profil 584). Isticanje izdanskih voda u ovom tunelu se dešava u periodu topljenja snijega ili u periodu intenzivnih kiša, i to jedino ako je vodostaj Pivske akumulacije visok.

Tabela 3. Procijenjeni mjerodavni doticaji infiltriranih voda u projektovane tunele

Br. ⁱ	Stacionaža		Dužina L (m) ⁱ	Infiltrac. površina A (ha) ⁱⁱ	Intenzitet kiše <i>i</i> (l/s/ha) ⁱⁱⁱ	Infiltrac. koef. C (-) ^{iv}	Doticaj infiltriran. voda Q (l/s) ^v
	Početak	Kraj					
1	3+790	4+022	232	0.23	200	0.45	20.9
2	4+175	4+271	96	0.10	200	0.7	13.4
3	4+420	4+626	206	0.21	200	0.5	20.6
4	4+670	4+986	316	0.32	200	0.624	39.4
6	5+086	5+154	68	0.07	200	0.6	8.2
7	5+218	5+338	120	0.12	200	0.55	13.2
8	5+796	5+908	112	0.11	200	0.6	13.4
9	6+304	6+415	111.33	0.11	200	0.5	11.1
10	6+601	6+798	196.8	0.20	200	0.75	29.5
11	6+880	6+940	59.69	0.06	200	0.7	8.4
20	7+250	8+465	1215.8	1.22	200	0.675	164.1
24	8+523	8+678	154.59	0.15	200	0.7	21.6
25	8+851	9+014	163.15	0.16	200	0.7	22.8
26	9+070	10+662	1592	1.59	200	0.64	203.8
34	10+935	11+149	214.5	0.21	200	0.7	30.0
35	11+382	11+558	175.53	0.18	200	0.7	24.6
36	11+664	12+042	377.95	0.38	200	0.65	49.1
38	12+062	12+115	52.91	0.05	200	0.5	5.3
39	12+260	12+415	155	0.16	200	0.7	21.7
40	12+470	12+855	384.92	0.38	200	0.7	53.9
42	14+114	14+340	226	0.23	200	0.7	31.6
42'	14+450	14+570	120	0.12	200	0.7	16.8
43	15+075	15+792	717.36	0.72	200	0.75	107.6
45	16+370	16+452	82.99	0.08	200	0.8	13.3
46	16+637	17+536	898.7	0.90	200	0.75	134.8
50	17+615	17+672	56.78	0.06	200	0.6	6.8
51	17+745	17+867	121.66	0.12	200	0.6	14.6
52	17+913	18+510	597.32	0.60	200	0.517	61.8
54	18+674	18+794	119.78	0.12	200	0.6	14.4
55	18+809	19+356	546.77	0.55	200	0.6	65.6

- i. Numeracije i dužine tunela preuzete iz Idejnog projekta (Knjiga 7.1, str. 1)
- ii. Infiltraciona površina obuhvata pojas od po 5 m od osovine tunela sa obje strane
- iii. Vrijednost je preuzeta iz Tehničkog izvještaja uz Idejni projekat rekonstrukcije magistralnog puta od Paklica do mosta na Pivskom jezeru (str. 7) gdje je za mjerodavnu kišu izabrana 60-minutna kiša intenziteta 200 l/s/ha
- iv. Procijenjen na osnovu osmatranja u postojećim tunelima (Tabela 2)
- v. $Q = C \cdot i \cdot A$

9. ZAKLJUČAK

Predmet istraživanja pomenute studije (Radulović, 2016) su hidrogeološke karakteristike slivnog područja Pive na području trase puta od Šćeapan Polja do čeličnog mosta preko Pivske akumulacije.

Nakon analize klimatskih, hidroloških, geomorfoloških i hidrogeoloških karakteristika slivnog područja date su procjene oticaja izdanskih voda sa sliva prema koritu Pive (poglavlje 7.8), a takođe data je i procjena količina voda koje se mogu infiltrirati u projektovane tunele (poglavlje 8).

Srednji godišnji oticaj izdanskih voda sa sliva iznosi oko 2,6 m³/s, a procjenjuje se da maksimalni oticaj može iznositi i preko 30 m³/s (poglavlje 7.8).

Procijenjeno je da ukupni mjerodavni doticaj infiltriranih voda u sve projektovane tunele može iznositi oko 1250 l/s, tj. u prosjeku oko 13 l/s po 100 m dužine tunela. Procijenjeno je da infiltraciona površina obuhvata pojas od po 5 m od osovine tunela sa obje strane. Međutim, ukoliko su infiltracione površine veće od procijenjenih, npr. ukoliko se sliv eventualnog pećinskog kanala pruža van procijenjenog pojasa infiltracije, tada je u hidrološkom maksimumu moguće očekivati i veće količine voda od ovdje procijenjenih (poglavlje 8).

Prilikom rekonstrukcije puta potrebno je voditi računa da se spriječi doticaj voda u deluvijalne sedimente rasprostranjene na nekoliko lokacija duž lijeve strane puta i da se uspostavi adekvatno dreniranje ovih lokacija kako ne bi dolazilo do narušavanja stabilnosti kosina (poglavlje 7.9).

SUMMARY

The climatic, hydrographic, hydrological, geomorphological and geological characteristics of the catchment area are described in the first part of the paper. In the second part the hydrogeological characteristics of the researched area and the assessment of groundwater inflow into the projected tunnels are presented.

LITERATURA

- Bešić Z., 1969: *Geologija Crne Gore, knj. II, Karst Crne Gore*, Posebana izdanja zavoda za geološka istraživanja Crne Gore, Titograd.
- Bieniawski Z.T., 1974: *Geomechanics classification of joined rock masses and its application in tunneling*. Proc. Third Int. Congress on Rock Mechanics, ISRM, Denver, pp. 27-32.
- Burić M., 1976: *Regionalna hidrogeološka istraživanja Pive, Tare i Čehotine*. Zavod za geološka istraživanja SR Crne Gore, Titograd.
- Buzaljko R., Kulenović E., Marić J., Džonlagić Dž., Stajević V., Vrhovčić J., Reljić D., Mitrović P., Marić Lj., Buzaljko J., Arežina M., 1980: *Osnovna geološka karta 1:100.000 list »Foča«*. Geoinženjering, Institut za geologiju, Sarajevo.
- Đorđević B., Sekulić G., Radulović M., Šaranović M., 2010: *Vodni potencijali Crne Gore*. Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, knj. 74, Podgorica.
- Hrvačević S., 2000: *Hidrogeološke karakteristike sliva Pive i Tare sa aspekta korišćenja i zaštite vodnog potencijala*. Magistarski rad. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- Idejni projekat. 2012: *Idejni projekat rekonstrukcije magistralnog puta Šćepan Polje–Plužine*. Fondovska dokumentacija firme „MI“, Podgorica.
- Lješević M., 2004: *Karst Pive*. Crnogorska akademija nauke i umjetnosti, knj. 45, Podgorica, pp.296.
- Mirković M., Pajović M., Kalezić M., 1974: *Osnovna geološka karta 1:100.000 list »Gacko«*. Zavod za geološka istraživanja SR Crne Gore, Titograd.
- Radulović M., 2000: *Hidrogeologija karsta Crne Gore*, Posebna izdanja Geološkog glasnika, knjiga XVIII, Podgorica.
- Radulović M., Radulović V., 2004: *Hidrogeološka karta Crne Gore 1:200.000*, Zavod za geološka istraživanja, Podgorica.
- Radulović M., Radulović V., Popović Z., 1982: *Hidrogeološka karta Crne Gore 1:100.000 za prostorni plan Republike*. RZUP, Titograd.
- Radulović M.M., 2016: *Studija o hidrogeološkim karakteristikama sliva Pive na području trase puta Šćepan Polje–Plužine*. COWI, Podgorica.
- Radulović V., 1973: *Hidrogeološke odlike terena sliva Skadarskog jezera (dijela na teritoriji SRCG)*. Zavod za geološka istraživanja SR Crne Gore, Titograd.
- Stepanović B., 1957: *Skica hidrogeoloških provincija Jugoslavije*. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, pp. 106, Beograd.
- Torbarov K., Radulović V., 1965: *Regionalna hidrogeološka istraživanja Crne Gore i istočne Hercegovine*. Fond stručne dokumentacije Zavoda za geološka istraživanja SR Crne Gore, Sarajevo.
- VOCG, 2001: *Vodoprivredna osnova Crne Gore*, Izradio: Institut Jaroslav Černi - Beograd, Vlada Republike Crne Gore, Podgorica.

Geološki glasnik Geological bulletin	XVIII	137 - 142	Podgorica, 2023
-----------------------------------------	-------	-----------	-----------------

Marinko Račić¹

KONCEPT BAZE PODATAKA ZA POTREBE JU ZAVODA ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA PODGORICA

Apstrakt:

Potreba za bazom podataka nije više potreba, postao je standard gdje svi veliki sistemi smještaju svoje podatke i informacije, vezano za djelatnost koju obavljaju, kao i za smještanje ostalih relevantnih poslovnih podataka. Jednostavnost koncepta i jasnoća povezanosti svih struktura baze jeste globalni cilj koji daje jednostavnost upravljanja i pretrage. Vodeći se tim premisama Zavod za geološka istraživanja teži ka rješenjima koje će biti otvoreno za nadogradnju, tako da u vremenu ne zastarijeva u smislu formulacije koncepta. Stoga do sada nije dato ni jedno rješenje, koje nije vremenski ograničeno, jer tokom godina nije se razmišljalo u tom pravcu. Došlo je do toga da je broj konkretnih rješenja na nivou koncepta i modela veoma mali, ili gotovo da ga i nema.

Cilj ovog rada je formirati idejno rješenje tj. koncept koji bi riješio problem smještanja i organizovanja podataka, obrade i prezentacije, kao i osnovu za formiranje nekih novih baza podataka za potrebe Zavoda. Ujedno koncept treba da omogući fleksibilnost, nadogradnju kroz modularni koncept.

Ključne riječi: baza podataka, programi, koncept.

CONCEPT OF DATABASE ACCORDING TO NEEDS OF GEOLOGICAL SURVEY OF MONTENEGRO, PODGORICA

Abstract:

Need for database is no longer need, now became standard. Database is something what is desirable to have for accommodation of data and information related to business, and all others which is involve in it. Simplicity of concept and clarity of all parts of database is main goal in designing, and give to end user best results in

¹ mr Marinko Račić, dipl. maš. inž. – JU Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, racic.m@geozavod.co.me

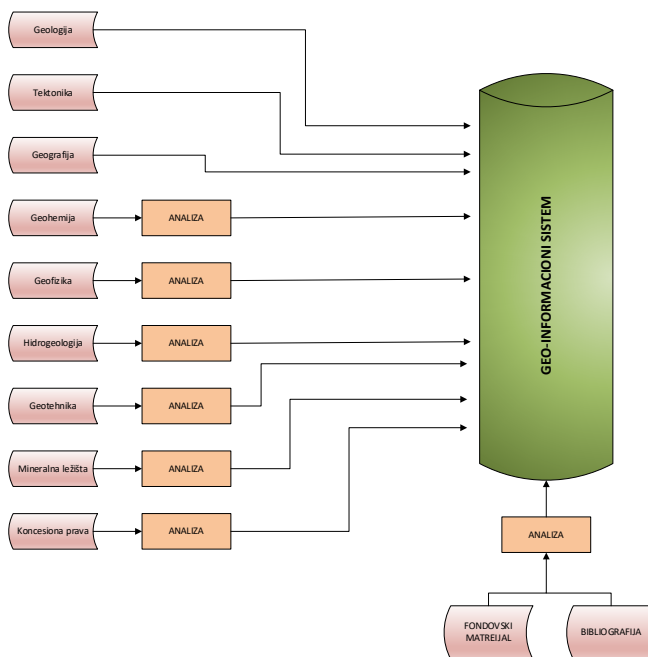
search, and best approach in maintenance and upgrade. Using a guidelines like this Geological Survey of Montenegro, Podgorica is going in direction for open solution for upgrade product like this in time, where database does not became obsolete in means of concept. Up until now not any kind of solution exists, because over the years it was not considered. The number of solutions on the level of concept or model is very small or does not exist.

Aim of this science paper is to propose new solution concept of database for the Survey for accomodation of differend kind of data. It can represent very begining for some new generation of database which can meet their needs. Concept has to have flexibility, possibility of upgrade and modular approach in extension of it.

Keywords: database, programs, concept, geological .

1. UVOD

Do sada temu ili problematiku geološkog informacionog sitema i mogućeg koncepta baze podataka su obrađivalji autori Biljana Đurović i Darko Novaković (1991) u svom radu O potrebi formiranja geološkog informacionog sistema u Crnoj Gori, gdje navode jedan od razloga nefunkcionalno organizovanje prikupljanja podataka od svih relevantnih lica i institucija, sa ciljem postojanja jedne i jedinstvene baze podataka za teritoriju Crne Gore.



Slika 1. Geološka baza podataka u okviru geološkog informacionog sistema

Pored datog okvira o formi i konceptu baze podataka, autori ne ulaze u suštinu problematike. Daju konceptijsko rješenje geološkog informacionog sistema za potrebe Crne Gore. Autori su na prikazanoj šemi pobrojali oblasti geologije koje treba da postoje unutar baze, gdje je pojedinim oblastima dođe modul za analizu podataka bez provjere podataka kroz određenu proceduru ili upotrebu standarda koji verifikuju kvalitet, integritet i vjerodostojnost podatka.

2. SADRŽAJ BAZE – SMJEŠTANJE PODATAKA I KLASIFIKOVANJE

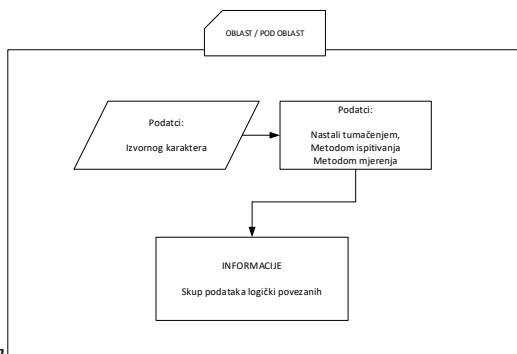
Za uspostavljanje koncepta baze i formiranja podstruktura koje će da prihvataju podatke potrebno je prvo razumjeti geologiju. Imajući u vidu da je geologija prirodna nauka koja proučava sastav, debljinu i osobinu zemljanih masa koje čine neposrednu površinu terena. Kao i sastav, strukturu i osobine geoloških masa dubljih djelova terena, i stanje podzemnih voda i izvora. Ova tri suštinska djela geologije su predmet izučavanja raznih disciplina i grana kao što su:

- mehanika tla (nauka o mehaničkom sastavu i osobinama zemljanih masa sa gledišta građevinske tehnike),
- pedologija (nauka o postanku, transformaciji i migraciji materije površinskog rastresitog pokrivača sa agrikulturnog gledišta),
- mineralogija (nauka o mineralima, sastavnim djelovima stijena),
- petrografija (nauka o stijenama),
- geotektonika (nauka o unutrašnjoj strukturi zemljine kore),
- geomorfologija (nauka o postanku i promjenama zemljinog reljefa),
- istorijska geologija - stratigrafija (nauka o istorijskom razvoju Zemlje),
- inženjerska geologija – primjenjena geologija (izučava teren kao cjelinu u građevinskom pogledu),
- hidrologija (nauka o nastanku, kretanju i eksploataciji podzemnih voda),
- mehanika stena (nauka koja izučava mehanička svojstva stijena),
- geofizika (nauka o fizičkim osobinama Zemlje (magmatizam, gravitacija, radioaktivnost i dr.),
- geochemija (nauka o hemijskom sastavu i hemijskim promjenama u zemljinoj kori),

kao i mnoge druge discipline.

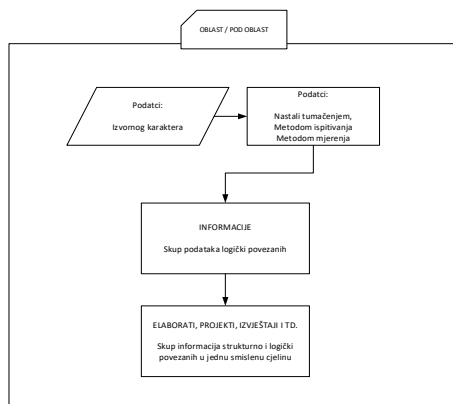
U ovakvoj diversifikaciji geologije i poznavanju nauke, potrebno je veoma jasno postaviti granicu između podataka koji su osnovni, podataka koji su izvedeni na osnovu određene logike zaključivanja i prezentacije. Iz tog razloga za svaku oblast je potrebno postaviti dva osnovna polja podataka: osnovni i izvedeni. Kako bi se jasno postavili granica između podatka koji je činjenica i podatka koji je nastao kao percepcija istraživača. U ukupnoj grupi podataka sa kojima se radi, postoje podaci koji su dobijeni kao posledica ispitivanja određenim naučnim metodama ili sistemima mjerenja. U njihovom uspostavljanju učestvuju metode, procedure i standardi po kojima su dobijeni, i mogu biti kvantifikovani ili opisani. Sledeći tip podataka predstavlja slika, koja predstavlja skup podataka koji se intepretira na

osnovu znanja i iskustva inženjera koji radi na obradi. Ogromna količina podataka se sažima u neku informaciju koja se može koristiti u operativnom smislu, stoga proces i način uspostavljanja veoma zavisi od načina na koji se formira ista (slika 2).



Slika 2. Proces nastajanja podataka i njihovog uspostavljanja u okviru geoloških nauka

Ukoliko se piše projekat, elaborat, tehnički izvještaj, ili vrši izrada karte ili nekog drugog dokumenta iz oblasti geologije tada proces nastajanja novih informacija ili podataka treba da bude kroz proceduru sledećeg oblika (slika 3).



Slika 3. Proces nastajanja informacije koja je proizvod procesa

Iz pokazanog može da se uoči da u okviru svake oblasti je potrebno formirati određene djelove ili module za smisljeno skladištenje podataka. Pri čemu za sve mora postojati jedinstvena tačka povezivanja, a to je lokacija za koju se vrše određene radnje koje su potrebne i svrshishodne. Kako bi podaci bili povezani i dali smisao cjelini koju definišu.

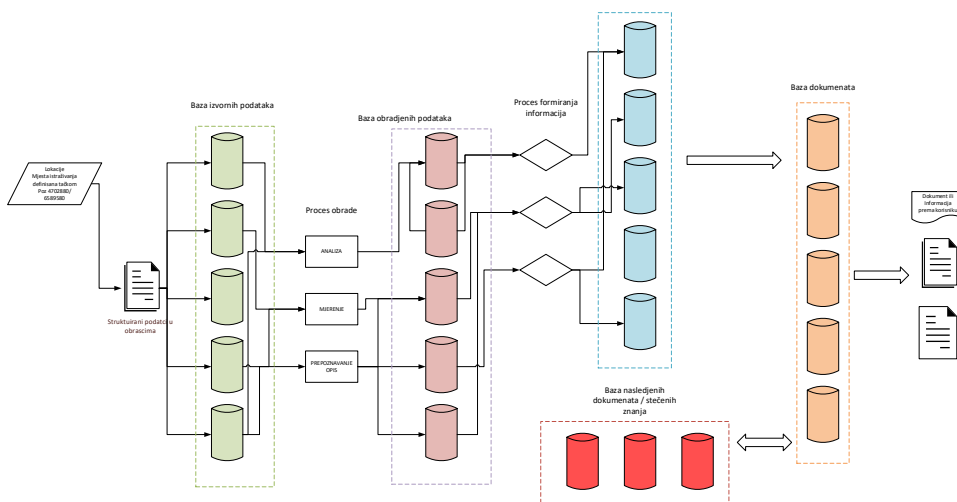
Pristup organizovanja podataka ovakve baze koja može biti vertikalno i horizontalno povezana, podaci biti vezani za lokaciju je glavni izazov. Tako da pristup u organizovanju baze prema oblastima jeste jednostavnian za depnovanje i za

za klasifikovanje podataka, dok pristup prema lokaciji je složeniji i zahtjeva dobro poznavanje i upravljanje podacima. Ovakav stepen složenosti baze podataka zahtijeva procedure i obrasce koji će da budu nosioci podataka do unošenja u bazu. Kako bi se obezbjedio integritet podataka i istraživanja.

3. KONCEPT BAZE – MODEL

Pored poznavanja prirode podataka sa kojima se radi, kako se obrađuju, potrebno je poznavati tok podataka i informacija kroz sistem, i tačke transformacije. Gdje se podatak transformiše u informaciju, a informacija u dokument.

Pored navedenog i predhodno prihvaćenog koncepta da prepoznavanje lokacije ide prema tačkama na kojima se vrši istraživanje. Dobija se na slici 4. koncept baza podataka.



Slika 4. Koncept baze podataka

Procesno baza je rješena tako da se podaci sa terena strukturirano unose u formulare ili na neki drugi način, gdje se takvi podaci tretiraju kao izvorni ili osnovni podaci i unose se u primarnu bazu, gdje se vezuju za lokaciju istraživanja. Osnovni podaci se obrađuju kroz tri jasna obrazca, analizu, mjerenje i interpretaciju (prepoznavanje ili opis) i nakon toga u formiranu bazu obrađenih podataka se unose. Baza obrađenih podataka smješta novonastale koji su proizvod analize, na primjer uzorak stijene koji je izuzet sa terena predstavlja izvorni podatak, njegovim tretiranjem u laboratoriji dobijamo hemijski sastav, mehaničke osobine itd. Ovakvi podaci nastali su obradom primarnih. Tretiranjem podataka kroz određen način zaključivanja da li je to induktivni ili deduktivni, da li je za to korišćena neka metoda obrade kao što su analiza ili sinteza dobijamo skup strukturiranih podataka u određenom kontekstu i formira se informacija. Sve novonastale informacije smještaju se u bazu informacija.

U okviru koncepta je umetnuta unaprijed formirana baza nasleđenih dokumenata ili stečenih znanja. U njoj su smještena sva dosadašnja saznanja i znanja u formi slika, dokumenata, knjiga, elaborata, karata, tumača itd. I pored svoje funkcije da upotpuni postojeće takođe se pothranjuje sa novim. Procesno baza nasleđenih dokumenata ili stečenih znanja ima svoju interakciju u ovako formiranom okruženju.

Poslednja u koncepciji je baza dokumenata koja je proizvod smisleno povezanih informacija koje imaju za proizvod dobijanja nekog novog saznanja ili konačnog mišljenja vezano za problematiku kojom se bavi dokument. Dokumenti po obimu i sadržini uključuju slike, analitičke prikaze, grafičke prikaze – karte, matematičke modele koji računaju količinu neke materije i daju sliku o stanju resursa u prirodi itd. Kao i mnogi podaci, dokumenti se takođe vezuju za tačku istraživanja i oblast za koju se vrši.

U proces distribucije i transformacije podataka, informacija i dokumenata je uključen kvalitet, integritet i upravljanje podacima koji je definisan standardima, protokolima, procedurama i pozitivnom inženjerskom praksom koje propisuju tijela za standardizaciju, akreditaciju i metrologiju, kako bi sve informacije koje se u bazi smještaju imale svoj naučni potencijal i značaj.

ZAKLJUČAK

Koncept baze koji je formiran predstavlja opštu formu unutar koje mogu da se smještaju svi podaci bez obzira kojoj oblasti ili disciplini geologije pripada. I kroz nju je uspostavljena i procedura obrade i pothranjivanja novih podataka koji nastaju u procesu. Što dovodi do zaključka da je baza koncepcijski višeslojna i da se u okviru koncepta nalazi mnogo manjih baza koje su međusobno naslonjenje.

Takođe se može uočiti da koncept baze daje dobru osnovu za formiranje nekih novih baza na osnovu smještenih i procesuiranih podataka, arhiviranih dokumenta i njihove dostupnosti. Kao i da je ispunila svoj cilj, fleksibilna, modularna i vremenski ne zastaruje.

LITERATURA

Đurović, B., Novaković, D., 1991: *O potrebi formiranja geološkog informacionog Sistema u Crnoj Gori*, Zavod za geološka istraživanja Crne Gore – Titograd, Geološki glasnik, Knjiga XIV, s. 167-171.

Mr Mirko Stanković, dipl. inž., 2016: *Osnovi geologije, inženjerske geologije i mehanike tla, Ideo – Osnove geologije*, Beograd, Oktobar 2016

*Vladimir Jovanović¹, Dejan Todorović¹, Dragan S. Radulović¹, Branislav Ivošević¹,
Sonja Milićević¹, Darko Božović²*

PELETIZACIJA KAO KVALITETNA ALTERNATIVA ZA GRANULACIJU KALIJUM I AMONIJUM SULFATNOG ĐUBRIVA

Apstrakt

Kalijumove i amonijumove soli su neophodne za ispunjavanje nutritivnih potreba useva. Dok se granulacija ovih materijala tradicionalno vrši sabijanjem na valjcima, potražnja za okruglim i manje ugaonim proizvodom dovodi do toga da neki proizvođači đubriva uvedu dodatnu proizvodnu liniju u svoje operacije, peletizaciju (vlažno granuliranje) sa disk peletizatorom. U ovom radu su date moguće alternative u procesu proizvodnje kalijum i amonijum sulfatnih đubriva, koje pruža proces peletizacije.

Ključne reči: peletizacija, granulacija, kalijumova đubriva, amonijum-sulfatna đubriva.

PELLETIZATION AS A QUALITY ALTERNATIVE FOR GRANULATION OF POTASSIUM AND AMMONIUM SULFATE FERTILIZER

Abstract

Potassium and ammonium salts are necessary to meet the nutritional needs of crops. While the granulation of these materials has traditionally been done by roller compaction, the demand for a rounder and less angular product has led some fertilizer manufacturers to introduce an additional production line to their operations: pelletization (wet granulation) with a disc pelletizer. This paper presents possible alternatives in the production process of potassium and ammonium sulfate fertilizers, provided by the pelletization process.

Key words: pelletization, granulation, potassium fertilizer, ammonium sulfate fertilizer.

¹ *Institute for technology of nuclear and other mineral raw materials, 86 Franchet d'Espèry Street, Belgrade, Serbia, v.jovanovic@itnms.ac.rs*

² *Geological Survey of Montenegro, Podgorica, Montenegro, bozovic.d@geozavod.co.me*

1. UVOD

Uz mnoge prednosti u odnosu na granule proizvedene sabijanjem u valjcima (granulacija), peletizacija omogućava proizvođačima đubriva da u svoju ponudu uključe proizvod veće vrednosti, zadovoljavajući rastuću potražnju za visokokvalitetnim i specijalnim đubrivima.

Kompaktiranje valjcima, suvi pristup granulaciji koji koristi ekstremni pritisak kako bi se fino spojile zajedno, formira nazubljene čestice nepravilnog oblika unutar željenog opsega veličina (Feeco international). Kompaktiranje (zbijanje) je ostalo poželjna metoda za aglomeraciju kalijumovih i amonijumovih soli jer nudi niske operativne troškove i dobro odgovara samolepljivim karakteristikama ovih materijala (Hoche et al., 2008); istorijski, kada su proizvođači pokušavali da prerade kalijumove i amonijumove soli tehnikama vlažne granulacije, materijal bi formirao vlažnu kristalnu pulpu umesto željenih granula.

Danas napredak u razumevanju ovih materijala i principa vlažne granulacije otvara nove mogućnosti za proizvode kao što su:

- Kalijum sulfat ili sulfat kalijuma (K_2SO_4 , ili SOP)
- Kalijum hlorid ili murijat potaša (KCl, ili MOP)
- Amonijum sulfat (AS)
- Druge amonijumove soli

Kako ishrana useva postaje sve specijalizovanija i specifična za primenu, a standard za kvalitet đubriva se povećava, mnogi poljoprivredni proizvođači spremni su da plate malo više za značajne prednosti koje okrugle granule đubriva mogu da ponude, otvarajući vrata novom tržištu za proizvođače.

Treba imati u vidu da kada je potrebna amonijacija, kao što je proizvodnja amonijum nitrata ili amonijum fosfat nitrata, amonijacija treba da se sprovede u reaktorima pre diska za peletizaciju kako bi se izbeglo značajno dimljenje i gubitak amonijaka. Iz tog razloga, pristup peletizacije diskovima (peletizacionim tanjirima) se obično ne koristi ako je uključena amonijacija, a proizvođači se umesto toga odlučuju za granulator sa rotacionim bubnjem (Hoche et al., 2008). Na slici 1 možemo videti oporedno prikazane sitnozrni i peletizirani kalijumov materijal.



Slika 1. Kalijumov sitnozrni materijal pre i posle aglomeracije na disk peletizatoru

1.1. PREDNOSTI SFERIČNIH GRANULA ĐUBRIVA U ODNOSU NA UGAONE

Peletizacija stvara sferičniji, ujednačeniji granularni proizvod koji se može pohvaliti mnogim prednostima u odnosu na ugaone granule proizvedene sabijanjem na valjcima (Pietsch, 2001). Ovo uključuje:

- **Poboljšano rukovanje i primena** - U poređenju sa ugaonim granulama koje pokazuju lošu reologiju, okrugle granule su inherentno tečljivije (protočnije) (Petrović, 2008). Ova poboljšana tečljivost poboljšava rukovanje u svakoj fazi životnog ciklusa proizvoda, od punjenja i skladištenja, pa sve do primene. Okrugle granule se takođe ravnomernije šire od nazubljenih, poboljšavajući tačnost primene, distribuciju hranljivih materija i predvidljivost rezultata.
- **Smanjena prašina i trošenje** - Jedan od načina na koji se značajno poboljšava rukovanje sa okruglim granulama je smanjenje prašine. Zakošene ivice granula iz valjkastog kompaktora su sklone trljanju jedna uz drugu i razbijanju u sitne čestice, stvarajući prašinu (trošenje) (Petrović, 2008). Iako postoje neke proizvodne metode kako bi se smanjila mogućnost stvaranja prašine sa granulama za sabijanje, ove tehnike povećavaju troškove proizvodnje i još uvek se ne mogu porediti sa minimalnim stvaranjem prašine od okruglih granula, koje ostaju netaknute jer nema oštih ivica koje bi se trljale i odvajale.
- **Poboljšana varijabilnost proizvoda** - Fleksibilna priroda procesa peletiranja omogućava veću varijabilnost proizvoda. Proces peletiranja je veoma fleksibilan i može da primi više aditiva u obliku tečnosti i čvrste materije. Ova fleksibilnost omogućava proizvođačima da lako uključe korisne aditive kao što su mikronutrijenti, organska veziva, premazi i još mnogo toga, kako bi poboljšali formulaciju. Proces takođe pruža mogućnost operaterima da lako podese karakteristike veličine ili gustine.
- **Brža isporuka hranljivih materija** - Okrugle granule su manje guste od zbijenih granula i imaju potencijal da poboljšaju performanse proizvoda tako što se brže razlažu od granula dobijenih kompaktiranjem, promovišući bržu isporuku hranljivih materija.
- **Redukovano sredstvo za oblaganje** - Oblaganje postaje sve popularniji pristup modifikovanju formulacije đubriva, kao i karakteristika rukovanja i performansi, bez obzira da li premaz smanjuje mogućnost zgrušavanja, smanjuje prašinu, kontroliše brzinu oslobađanja, uključuje mikronutrijente ili na neki drugi način. Okrugli oblik dobijen postupkom peletiranja je idealan za oblaganje đubriva, jer ima niži odnos površine prema zapremini (SAV) od granula nepravilnog oblika, što omogućava proizvođačima da koriste manje sredstva za oblaganje.

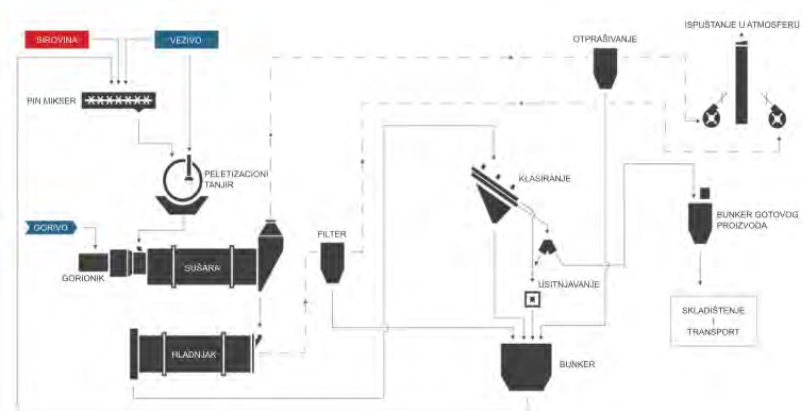
2. PELETIZACIJA SOLI KALIJUMA I AMONIJUMA POMOĆU PELETIZACIONOG DISKA

Dok se mikser sa lopaticama i bubanj za granulaciju široko koriste za izvođenje vlažne granulacije u industriji đubriva i svakako nude efikasno rešenje za preradu, proizvođači se okreću disk peletizatoru posebno iz nekoliko razloga:

- **Nisko recikliranje = visoka efikasnost** - Jedan od najprivlačnijih aspekata pristupa disk peletizatora je efikasnost koju proces nudi. Takođe poznat kao peletizacioni tanjir, disk peletizator prirodno klasifikuje materijal na rotirajućoj posudi prema veličini čestica. Klasifikacija omogućava operaterima da ciljaju i prskaju tečni rastvor/vezivno sredstvo kako bi se podstakao rast samo na materijalu manje veličine, u velikoj meri eliminišući proizvodnju prevelikih čestica i smanjujući količinu vlage koja je potrebna u procesu (Sastry and Fuerstenau, 1977). Ova radnja klasifikacije takođe generalno daje operaterima bolju kontrolu nad veličinom čestica rafiniranja, omogućavajući im da izvrše prilagođavanje finog podešavanja veličine čestica ili rasta peleta tokom proizvodnje. Ovo značajno smanjenje količine recikliranog čini proces mnogo efikasnijim, jer se mora sušiti mnogo manje recikliranog materijala.
- **Rafinirani proizvod** - Disk peletizator proizvodi rafiniranije granule u poređenju sa drugim metodama, posebno kada se koristi pin mikser kao korak predkondicioniranja. Pin mikser (mikser sa iglicama ili šipkicama) proizvodi homogenu mešavinu čvrstih i tečnih komponenti, istovremeno formirajući male pelete semena koje se koriste kao sirovina za disk (Gluba, 2002). Ovo ostavlja disk peletizatoru jedini zadatak da povećava i zaokružuje pelete semena. Rezultat je dobro izmešan, otprašen ulazni materijal na disku koji stvara ujednačenije, sferične granule.

3. PROCES PELETIZACIJE

Proces peletizacije varira u zavisnosti od jedinstvenog materijala koji se obrađuje i specifičnih ciljeva operacije. Ovde je opisano tipično kontinualno postrojenje za peletizaciju, čiju šemu procesa možemo videti predstavljenu na slici 2.



Slika 2. Šema procesa koja ilustruje tipičnu postavku miksera i diska za peletiranje (Jovanović i dr., 2022)

3.1.PRIPREMA ULAZNOG MATERIJALA (KONDIIONIRANJE)

Kao što je pomenuto, pin mikser se često koristi za pripremu materijala pre peletizacije na disku (tanjiru). Ovde se sitni materijal, tečno vezivo i svi aditivi homogeno mešaju u jednoličnu smešu (Van de Walle and Smith, 1992). Kako se smeša kreće kroz mikser, počinju da se formiraju guste pelete semena (jezgra, začetka peleta).

3.2.PELETIZACIJA

Pelete semena iz miksera se stavljaju na disk peletizator, prikazan na slici 3. Kontinuirano se dodaje dodatni sitni materijal i vezivno sredstvo. Kako pelete semena prolaze kroz sitni ulazni materijal i vezivo, one postaju lepljive, skupljajući još finoća. Dok nastavljaju ovaj proces dok se prevrću na rotirajućem disku, pelete semena rastu u efektom „grudve snega“ poznatom kao koalescencija. Kada pelete dostignu željenu veličinu, centrifugalna sila dovodi do toga da se manje pelete nedovoljne veličine (krupnoće) nose okolo i ostaju na disk peletizatoru da nastave da rastu dok se veće pelete potrebne veličine ispuštaju iz diska. Sa diska se pelete potrebne veličine dovode u rotacionu sušaru (Feeco international).



Slika 3. 3D Model disk peletizatora

3.3. SUŠENJE I HLAĐENJE

Pelete se suše u rotacionom bubnju za sušenje, dovodeći ih u željeni opseg vlažnosti krajnjeg proizvoda. Rotacija rotacionog bubnja dalje se okreće i polira pelete. Ako je potrebno, rotacioni hladnjak prati sušaru, smanjujući temperaturu materijala za pakovanje ili rukovanje.

Proizvod prolazi kroz sito, sortirajući pelete prevelike i manje veličine, koje se vraćaju u proces kao reciklaža (pri čemu se veće veličine prvo drobe). Proizvod prema specifikaciji prelazi na pakovanje, skladištenje ili punjenje. Gotov proizvod peletizacije kalijum sulfata kao primer prikazan je na slici 4. Korak oblaganja se takođe može koristiti na gotovim granulama u ovoj fazi.



Slika 4. Kalijum sulfat obrađen vlažnom granulacijom/peletizacijom, kombinacijom pin miksera i diska za peletizaciju

4. TESTIRANJE PROCESA PELETIRANJA

Svi materijali (i često isti materijal iz različitih izvora) različito reaguju na aglomerativnu granulaciju, što testiranje čini kritičnom komponentom u razvoju uspešne linije za peletizaciju. Zahtevna priroda aglomeracije kalijumovih i amonijumovih soli putem vlažne granulacije dodatno pojačava ovu potrebu.

Kroz serije testiranja i pilot postrojenja, mogu se proceniti različiti aspekti procesa peletizacije kako bi se identifikovali neophodni parametri za uspešno prevođenje na veće kapacitete i operacije. Ovo često uključuje:

- Procesne varijable kao što su brzina hranjenja ulaznim materijalom, koncentracija veziva, mesta prskanja i dovoda i još mnogo toga,
- Uključivanje korisnih aditiva,
- Bez obzira da li je korak pripreme (kondicioniranja) neophodan ili ne,
- Zahteve za sušenje,
- Parametre oblaganja.

5. ZAKLJUČAK

Dok su kalijumove i amonijumove soli ostale dobro korišćene metodom granulacije sa kompaktiranjem valjcima, rastuća potražnja za vrhunskim proizvodom, uparena sa napretkom u principima vlažne granulacije, kao i mnogim prednostima koje nudi peletizacija, ohrabruje mnoge proizvođače đubriva da usvoje tehniku peletizacije zajedno sa svojim postojećim operacijama za proizvode kao što su kalijum sulfat, kalijum hlorid, amonijum sulfat i još mnogo toga. Testiranje igra vitalnu ulogu u uspešnom razvoju ovih komercijalnih linija za peletiranje.

ZAHVALNOST

Istraživanje prikazano u ovom radu urađeno je uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru finansiranja naučnoistraživačkog rada, po ugovorima sa matičnim brojevima 451-03-47/ 2023-01/200023.

SUMMARY

Potassium and ammonium salts are necessary to meet the nutritional needs of crops. While granulation of these materials has traditionally been done by roller compaction, the demand for a rounder and less angular product has led some fertilizer manufacturers to introduce an additional production line to their operations, pelletization (wet granulation) with a disc pelletizer. This paper presents possible alternatives in the production process of potassium and ammonium sulfate fertilizers, provided by the pelletization process. While potassium and ammonium salts remain well used by the roller compaction granulation method, the growing demand for a superior product, coupled with advances in wet granulation principles, as well as the many advantages offered by pelletization, are encouraging many fertilizer manufacturers to adopt the pelletization technique along with their existing operations. For products such as potassium sulfate, potassium chloride, ammonium sulfate, and more. Testing plays a vital role in the successful development of these commercial pelletizing lines.

Advantages of spherical fertilizer granules compared to angular ones Pelletization creates a more spherical, uniform granular product that boasts many advantages over angular granules produced by roller compaction. This includes:

- Improved handling and application
- Reduced dust and wear
- Improved product variability
- Reduced coating agent
- Faster delivery of nutrients

Pelletization of potassium and ammonium salts using a pelletizing disc offers a refined product, as well as low recycling, i.e. high efficiency The pelletization process consists of:

- Preparation of input material (conditioning)

- Pelletization
- Drying and cooling
- Pelleting process testing.

Through test series and pilot plants, various aspects of the pelletization process can be evaluated to identify the necessary parameters for successful translation to larger capacities and operations. This often includes:

- Process variables such as feed rate, binder concentration, spray and feed locations and more,
- Inclusion of useful additives,
- Regardless of whether the preparation (conditioning) step is necessary or not,
- Requirements for drying,
- Coating parameters.

While potassium and ammonium salts remain well used by the roller compaction granulation method, the growing demand for a superior product, coupled with advances in wet granulation principles, as well as the many advantages offered by pelletization, are encouraging many fertilizer manufacturers to adopt the pelletization technique along with their existing operations. For products such as potassium sulfate, potassium chloride, ammonium sulfate, and more. Testing plays a vital role in the successful development of these commercial pelletizing lines.

LITERATURA

Feeco international, Agglomeration equipment basics, <https://feeco.com/literature/>

Feeco international, Agglomeration handbook, <https://feeco.com/literature/>

Gluba, T., 2002: *The Effect of Wetting Conditions on the Strength of Granules*. Physicochem. Probl. Miner. Process., v. 36(1), pp. 233-242.

Hoche, A., Naundorf, W., Stahl, I., 2008: *Method for granulation of ammonium sulphate and mineral fertiliser rich in ammonium sulphate*, Worldwide applications, EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG.

Jovanović, V., Todorović, D., Ivošević, B., Radulović, D., Milićević S., Mihajlović M., 2022: *Pelleting process, required equipment and benefits of use*. 8th Balkan mining congress, Belgrade, Serbia, Editors: Slobodan Vujić, Milinko Radosavljević, Svetlana Polavder, Organizer: Mining Institute Belgrade, p 314-320, ISBN 978-86-82673-21-7.

Petrović, M., 2008; *Mineral Processing – Fundamentals of Agglomeration*, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering: Tuzla, Bosnia and Herzegovina; p. 288.

Pietsch, W., 2001, *Agglomeration Processes – Phenomena, Technologies, Equipment*; Wiley-VCH, Verlag GmbH: Weinheim, Germany.

Van de Walle, R.H., Smith, D., 1992: *Binder for the granulation of fertilizers such as ammonium sulfate*. United States Patent, Patent Number: 5,078,779, Date of Patent: Jan. 7, 1992., Van de Walle et al.

Sastry, K.V.S, Fuerstenau, D.W. 1977. *Kinetics of Green Pellet Growth by the Layering Mechanism*. Transactions of AIME, v. 262, pp. 43–47.

IN MEMORIAM

Slobodan Rašović

(1.9.1940. – 1.11.2021.)

dr Rajka Radoičić

(6.6.1925. – 15.5.2023.)

SLOBODAN RAŠOVIĆ 1940 – 2021.



Slobodan Rašović, diplomirani inženjer geologije, je rođen 1. septembra 1940. godine u selu Momče u Kučima, opština Podgorica. Osnovnu i srednju školu završio je u Beogradu, gdje je živio u internatu po osnovu jugoslovenskog programa za ratnu siročad. Diplomirao je 1967. godine na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, grupa geološko-paleontološka, struka geološka. Preminuo je od posljedica izazvanih virusom KOVID 1.11.2021 u 82. godini života. Sahranjen je u porodičnoj grobnici, selo Momče, Kuči, Podgorica.

U Zavodu za geološka istraživanja SR Crne Gore zasnovao je radni odnos 1969. godine i u ovoj ustanovi radio do penzionisanja 2002. godine. U prvim godinama rada bio je angažovan kao stručni saradnik na istraživanju ležišta mineralnih sirovina i izradi Osnovne geološke karte SFRJ, list "Gacko", 1:100.000, čiji je koautor. Ubrzo nakon toga počeo je da rukovodi realizacijom projekata geoloških istraživanja, a 1972. godine je imenovan i za rukovodioca Ekipe za nemetale i boksite. Kasnije, shodno organizacionim promjenama u Zavodu, pored stručnih poslova obavljao je poslove rukovodioca Grupe za boksite i nemetale, a potom i Odjeljenja za mineralne sirovine.

Za vršioca dužnosti direktora Zavoda za geološka istraživanja SR Crne Gore imenovan je 1990. godine, zbog svojih stručnih i moralnih osobina i povjerenja koje je imao od strane zaposlenih, a 1991. godine biran je za direktora Zavoda, u izuzetno teškom i neizvjesnom periodu za društvo i ekonomiju u zemlji, a time i za Zavod. Funkciju direktora je obavljao do 1995. godine. Zahvaljujući njegovom radu i radu njegovih saradnika i kolega Zavod je uspio da se održi i sačuva.

Tokom tridesettri godine rada u Zavodu, Slobodan Rašović je profesionalno uglavnom bio orjentisan na osnovna i detaljna geološka istraživanja nemetalnih mineralnih sirovina i boksita. Na projektu "Regionalna geološka istraživanja na objektu Crnogorsko primorje", 1969/70. godine, učestvovala je u terenskim istraživanjima i izradi završnih izvještaja i elaborata. Posebna pažnja tokom realizacije ovog projekta posvećena je istraživanju ležišta i pojava: žive, boksita, dolomita, bentonita, kvarcnih pjeskova, hromita i opekarskih glina.

Od velikog značaja su rezultati višegodišnjih istraživanja realizovanih kroz projekat "Detaljna geološka karta boksitonosnih područja Kučke kraljušti i Stare Crne Gore, 1:10.000", od 1969. do 1985. godine, kojim su pored Slobodana Rašovića, prema posebnim godišnjim projektima, rukovodili ili u njima učestvovali Milosav Kalezić i Zdravko Ivanović. Pored urađenih više od 400 km² detaljne geološke karte, urađen je veliki broj paleontoloških i sedimentoloških, kao i hemijskih i mineraloških

analiza crvenih boksita, a rezultati svakog od projekata su prikazani u posebnim elaboratima ili završnim izvještajima i čine sigurnu osnovu daljim detaljnijim geološkim istraživanjima ležišta i pojava crvenih boksita u Crnoj Gori, kao i za metalogenetska istraživanja i ocjenu potencijalnosti.

Slobodan Rašović je, 1995. godine, uradio “Projekat izrade metalogenetsko-prognozne karte zapadne Crne Gore, 1:50000”, i njime rukovodio sve do penzionisanja 2002. godine.

Od projekata istraživanja nemetalčnih mineralnih sirovina poseban doprinos je dao kroz “Prospekcijska istraživanja arhitektonsko-građevinskog kamena na prostoru Crne Gore” (1979), a potom i osnovna geološka istraživanja ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena: Jovanovići (1972/73), Kriva Ploča (1972), Đeđezi (1981), Pješivački do (1985/86) i Lješevići-Vranovići, kao i istraživanja ležišta bigra: Tavani (Podmalinsko) (1973) i Gornja lijeska (1981/82). Istraživao je i sa saradnicima uradio geološku dokumentaciju za ležišta tehničko-građevinskog kamena u Štitarici: Okruglički krš i Taskavac (1987). Bio je saradnik na istraživanju ležišta opekarskih glina Maljevac (1973/74) i rukovodio je istraživanjima ležišta: Zekova Glavica (1981-83), Sinjarevo (1975, 1983/84) i Glavica-Brdišta. U periodu od 1974. do 1978. godine Slobodan Rašović je rukovodio na više projekata istraživanja bijelih boksita na području zapadne Crne Gore, a u više navrata sa saradnicima je istraživao je i ležišta dolomita: Virpazar i Vranjina (1969-71), Gornjopoljski viršume (1979/80, 1983) i Bršno (1984/85). U istraživanjima bentonita na Paštrovačkoj gori učestvovao je kao član stručnog tima koji je uradio detaljnu geološku kartu 1:10000 (1969), a radio je i na istraživanjima ležišta bentonita: Donja Bukovica-Timar (1972) i Pivska Župa (1988). Učestvovao je u istraživanju kvarcnih pjeskova u zaleđu Ulcinja (1987/88, 1989-92) i rukovodio istraživanjima ležišta roznaca Vrdola (1990/91).

Slobodan Rašović je, kao dokazan stručnjak i iskusen geolog, bio saradnik za boksite na projektu izrade “Metalogenetske karte Crne Gore, 1:200.000”, autora dr M. Pajovića, publikovane 1999. godine, a u periodu 1998-2002. godine i saradnik na projektu izrade “Karte mineralnih sirovina Crne Gore, 1:200.000”, pod rukovodstvom R. Svrkote. Značajan doprinos je dao kao jedan od učesnika na izradi “Registra ležišta i pojava mineralnih sirovina u Crnoj Gori”, kojim je u periodu 1996-1998. godina rukovodio M. Manojlović. Obradio je značajan dio materijala objavljenog u monografiji “Mineralne sirovine i rudarska proizvodnja u Crnoj Gori”, M. Gomilanovića i sar., 1999. godine.

Pored toga što je autor brojnih projekata, izvještaja i elaborata, kao naučno-stručnih radova Slobodan Rašović je redovno imenovan u komisije za reviziju geološke tehničke dokumentacije i recenziju naučnih radova iz oblasti istraživanja mineralnih sirovina.

Slobodan Rašović je bio temeljan geolog, posebno nadaren za shvatanje prostora, prepoznavanje geoloških fenomena, njihovo tumačenje i grafičku prezentaciju. Njegovi tekstovi i tehnička dokumentacija su visoko stručni, dokumentovani činjenicama prikupljenim terenskim radom, gotovo uvijek

ilustrovani instruktivnim fotografijama, praćeni sistematskim laboratorijskim istraživanjima i obradom rezultata na koje se istraživači mogu sigurno osloniti.

Poklanjao je veliku pažnju odnosu sa kolegama, tokom terenskog i kabinetskog rada, uveo je u istraživačke vode značajan broj mlađih geologa i podržavao ih tokom njihovog rada i stručnog razvoja.

Njegove geološke karte, posebno one detaljne, brojni projekti, izvještaji, eleborati i studije predstavljaju siguran oslonac za dalja istraživanja boksita i nemetaličnih mineralnih sirovina u Crnoj Gori.

Slobodan Radusinović

др РАЈКА РАДОИЧИЋ
1925 – 2023.



Рајка Радоичић се родила 1925. године у Требињу као најстарија од четворо деце. Пар година после њеног рођења породица се преселила у Цетиње. У Цетињу, где је провела младост, рано се политички определила. У 16. години је постала скојевка. Због скојевских активности три месеца је провела у затвору. Средином Другог светског рата, 1943. године, већ је била партизанка, све до ослобођења 1945. године.

Од малена је развијала љубав према природи шетајући са оцем по црногорским врлетима и научила да поштује и воли природу. После рата се определила да упише факултет окренут природним наукама. Практичног и радозналост истраживачког духа, одлучила се за Геолошко-палеонтолошку групу Природно-математичког факултета у Београду (сада Рударско-геолошки факултет) завршивши је у рекордном року. Кратко време, једно полугодиште, радила је у средњој школи, предавајући различите природне предмете. Понуђено место асистента на факултету је добила, јер је много више изазова доносио теренски рад, који није много био заступљен на факултету. Ускоро је примљена у Завод за геолошка и геофизичка истраживања Србије (сада Геолошки завод Србије), где је остала до пензионисања 1981. године. Одмах је била укључена у рад на Основној геолошкој карта Југославије у размери 1:100 000, заснованој на хроностратиграфском принципу. У то време Основна геолошка карта (ОГК) Југославије, као један од већих пројеката на нивоу бивше Југославије (који је трајао скоро 3 деценије, од 60-тих до 90-тих година прошлога века), представљала је основу за сва будућа основна и примењена геолошка истраживања. На терену је радила као регионални (картирајући) геолог, микропалеонтолог, биостратиграф, палеогеограф, а такође се бавила и истраживањем боксита. Осим у Србији, радила је са бројним екипама из других крајева бивше Југославије: Црне Горе, Хрватске, Косова и Метохије, Македоније, Словеније. Када није била на терену, радне сате је проводила у лабораторији где се бавила прегледом препарата у микроскопу, одређујући старост стена мезозојске, али и палеозојске и кенозојске старости. Тих 60-70-тих година XX века, микропалеонтологија се као грана геолошке науке тек развијала. Резултати њених микропалеонтолошких истраживања увелико су се примењивали у сврху боље интерпретације и финализације карата и тумача обухваћених Основном геолошком картом Југославије.

Пензионисала се као научни саветник, а била је и професор по позиву на Универзитетима у Падови и Напуљу. Научним радом је почела да се бави упоредо са инжењерским радом, одмах после запослења. Докторат под називом “Палеоекологија и биостратиграфија аберантних тинтина” одбранила је 1962. године у Љубљани. Као палеонтолог-почетник и учесник рада на Основној геолошкој карти Југославије, употпуњавала је теренски рад са микропалеонтолошким истраживањима. Након пензионисања наставила је интензиван научни рад, обogaћујући микропалеонтологију новим родовима и врстама, кроз самосталне радове или радове у коауторству са бројним еминентним геолозима из окружења и из целог света. Резултати њених истраживања се налазе у више стотина публикованих радова. Открила је, самостално и у коауторству, преко 90 нових фосилних таксона (врста и родова), пре свега кречњачких, и других, алги, али такође и фораминифера и осталих организама различитих старости (јуре, доње и горње креде, палеоцена, еоцена). Урадила је и бројне ревизије и емендације врста и родова алги. Вероватно има највећу цитираност у региону у оквиру геолошких наука, пре свега у области микропалеонтологије и сродних дисциплина.

Научници широм света (3 наша и 16 страних) су по њеном имену и презимену, из поштовања према њеним научним достигнућима, именовали 2 нова рода и 10 нових врста, те је и на тај начин значајно забележена у историји палеонтологије. То су родови: *Rajka MILOVANOVIĆ* 1963 и *Radoicicelopsis BANNER, FINCH & SIMMONS, 1990*; као и следеће врсте: *Trinocladus radoicicae* ELLIOTT, 1963; *Acroporella radoicicae* PRATURLON, 1964; *Digitella radoicicae* BYSTRICKY, 1976; *Distefanella radoicicae* PEJOVIĆ, 1979; *Coskinolina (Coskinon) rajkae* HOTTINGER & DROBNE, 1980; *Halobia rajkae* CAFIERO & deCAPOA-BONARDI, 1980; *Russoella radoicicae* BARATTOLO, 1983; *Vidalina radoicicae* CHERCHI & SCHROEDER, 1985; *Neutloporella rajkae* PARENTE & CLIMACO, 1999; *Spirosigmoilina rajkae* CHIOCCHINI, 2008; *Livarirhynchia rajkae* RADULOVIĆ, 2008.

Осим што је била аутор и коаутор бројних публикација, она је, као ментор и члан комисија за магистратуре и докторате, сматрала обавезом да несебично помаже и преноси своје знање из микропалеонтологије свим колегама које су од ње затражиле помоћ, било да се ради о изради докторских дисертација, магистарских теза или дипломских радова, или сасвим обичних консултација. Геолошком делатношћу се бавила скоро седам деценија.

Рајка Радоичић је једини српски геолог у чију је част за живота одржан интернационални скуп ван територије Србије (бивше Југославије). Скуп посвећен Рајки Радоичић организовао је факултет “Federico II” у Напуљу (5-6. маја 2006.) поводом 50 година сарадње и њених 80 година живота, уз присуство неколико десетина еминентних научника геолошке струке из целог света.

У Хрватској енциклопедији Лексикографског Завода “Мирослав Крлежа” (2021) споменута је као “свјетска стручњакиња за микропалеонтологију фосилних вапнењачких алги и фораминифера; заслужна за рјешавање биостратиграфских проблема плиткоморских карбонатних стијена у подручју Динарида (тзв. Динаридско-јадранска карбонатна платформа) тијеком мезозоика”.

Сарадња са Црном Гором

Прве радове, који се односе на територију Црне Горе, Рајка Радоичић је написала далеке 1955. године, картирајући и анализирајући наслаге мезозојске старости. Раних шездестих година XX века, учествовала је у изради Основне геолошке карте Црне Горе и сарађивала са црногорским геолозима, међу којима треба, пре свега поменути академика ЦАНУ Зарију Бешића, али и Андрију Павића, Милосава Калезића, Димитрија Шкулетића, Бранку и Мирка Мирковића, Предрага Вујисића и др. Проводила је много времена на теренима анализирајући геолошке творевине и њихове међусобне односе. Упоредо са теренским регионално-геолошким истраживањима, као специјалиста задужена за детерминацију старости мезозојских седиментних творевина, бавила се палеонтолошким истраживањима. Из микропалеонтолошких истраживања, које је Рајка Радоичић обављала по завршеним теренским радовима, проистекле су бројне нове врсте и родови алги, тинтинида, харофита и сл. Врло рано, пионирски за тадашње време, публикује две монографије едукативног карактера које су обухватиле микрофације креде и старијег терцијара (1960) и јуре (1966) Спољашњих Динарида Југославије, а на основу узорака који већим делом потичу са терена Црне Горе. Поменуте монографије се користе и у данашње време, иако је прошло више од шест деценија од њиховог публикавања. Последњи рад који се односи на територију Црне Горе написала је 2013. године.

Несумњив је и њен допринос кад је у питању утврђивање стратиграфског и палеогеографског положаја црвених и белих боксита Црне Горе чиме се бавила почев од 1959. Радови о бокситима се могу наћи у публикацијама из 1968., 1969., 1993. и 1996. године. Учествовала је и у детерминацији старости узорака из дубоких бушотина у Црногорском приморју.

На теренима Црне Горе непосредно је сарађивала са познатим стручњацима геолошке струке из Италије, Шварјцарске, Француске, Немачке, Грчке, Пољске, Словеније, Хрватске итд. са којима је вршила палеогеографска упоређивања геолошки сличних формација, откривала нове родове и врсте. Бројним публикацијама које су произашле из узорака опробованих на просторима Црне Горе (односно Спољашњих Динарида) допринела је развоју црногорске геологије ван њених граница, не само бивше Југославије, него и Европе и целог света.

Дивна Јовановић и Милан Судар

CIP - Каталогизација у публикацији
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

ISSN 0435-4249 = Geološki glasnik
COBISS.CG-ID 37922



