

ISSN 2303-5145



GLASNIK

RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

JOURNAL OF FACULTY OF
MINING, GEOLOGY AND CIVIL
ENGINEERING

2021. GODINA/YEAR
Broj 9/Vol. 9

2021/9

Naučno-stručni časopis za istraživanje u naučnim poljima 1.5, 2.1 i 2.7 (Frascati)
Scientific-Professional Journal for Research in Fields of Science 1.5, 2.1 and 2.7 (Frascati)



GLASNIK RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

ISSN 2303-5145 (Print)
ISSN 2303-5145 (Online)

Izdavač

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli

Za izdavača

Prof.dr.sc. Kemal Gutić

Glavni i odgovorni urednik

Prof.dr.sc. Rejhana Dervišević
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
Univerzitetska 2, 75000 Tuzla, BiH
Tel. +387 35 320 582
e-mail: rejhana.dervisevic@untz.ba, rdervisevic@gmail.com

Tehnički urednik online izdanja

Prof.dr.sc. Tihomir Knežiček
Tel. +387 35 320 571
e-mail: tihomir.knezicek@untz.ba

UREĐIVAČKI ODBOR

Rejhana Dervišević
Tihomir Knežiček
Kemal Gutić
Nedim Suljić
Sejfudin Vrabac
Jelena Marković
Sunčica Mašić
Senaid Salihović
Sabid Zekan
Dinka Pašić-Škripić

Izudin Bajrektarević
Omer Musić
Nedžad Alić
Kenan Mandžić
Zvezdan Karadžin
Adnan Hodžić
Ismet Gušić
Damir Zenunović
Adila Nurić
Eldar Husejnagić

MEĐUNARODNI SAVJETODAVNI ODBOR

Stjepan Ćorić, Austrija
Radomir Folić, Srbija
Hazim Hrvatović, Bosna i Hercegovina
Ivan Vrkljan, Hrvatska
Dubravka Bjegović, Hrvatska
Biljana Kovačević-Zelić, Hrvatska
Dunja Aljinović, Hrvatska
Tarik Kupusović, Bosna i Hercegovina
Azra Kurtović, Bosna i Hercegovina
Stjepan Lakušić, Hrvatska
Oleg Mandić, Austrija
Vladimir Simić, Srbija
Rade Jelenković, Srbija

Enver Mandžić, Bosna i Hercegovina
Damir Markulak, Hrvatska
Esad Mešić, Bosna i Hercegovina
Violeta Mirčevska, Makedonija
Krzysztof Kotwic, Poljska
Esad Prohić, Hrvatska
Ahmed El Sayed, Bosna i Hercegovina
Predrag Mišćević, Hrvatska
Mirza Ponjavić, Bosna i Hercegovina
Vlastimir Radonjanin, Srbija
Danilo Ristić, Makedonija
Ljupko Rundić, Srbija
Phalguni Sen, Indija
Rade Tokalić, Srbija

DTP

Rešad Grbović

Lektor

Selma Brčaninović

Print

COPYGRAF d.o.o.Tuzla

Tiraž

50 kom.

GLASNIK
RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG
FAKULTETA

TUZLA, 2021. GOD.

SADRŽAJ

Rejhana Dervišević RIJEČ GLAVNOG I ODGOVORNOG UREDNIKA	7
Dževad Forčaković, Rejhana Dervišević GLINE BUGOJANSKOG UGLJONOSNOG BASENA	9
Ferid Skopljak, Ćazim Šarić, Izet Žigić, Dinka Pašić-Škripić PODZEMNE VODE KAO GEOMANIFESTACIJA STRUKTURNO-TEKTONSKIH ODNOSA U SLIVU RIJEKE KRIVAJE	17
Kemal Zahirović, Danijel Ružić, PREGLED KORIŠTENJA BETONA VISOKIH PERFORMANSI U BETONSKIM KONSTRUKCIJAMA	32
Sanel Nuhanović, Adnan Hodžić, Muhidin Brčaninović, Muamer Muratović PROBLEMATIKA IZBORA BUŠAČIH ŠIPKI ZA IZRADU MINSKIH BUŠOTINA NA PK "VIJENAC' LUKAVAC	45
Jasensko Čomić, Rejhana Dervišević INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA ZA IZGRADNJU STAMBENOG NASELJA U ZONI SLIJEGANJA U PODRUČJU GRADA TUZLE	54
Nedžad Alić MOGUĆNOST ALTERNATIVNE PRIMJENE UGLJEVA KREKANSKOG BAZENA	64
Adnan Hodžić, Sanel Nuhanović, Muhidin Brčaninović, Muamer Muratović OŠTEĆENJA DLIJETA PRI IZRADI MINSKIH BUŠOTINA NA PK "DUBOKI POTOK"	72
Elvir Babajić, Medina Nuhić, Zehra Salkić MOGUĆNOST PRIMJENE KREČNJAKA IZ KAMENOLOMA VIJENAC U PROIZVODNJI CEMENTA I SODE	84
Nedim Suljić PROTOK VODE U TRAPEZKOM KANALU U FUNKCIJI RAZLIČITIH HRAPAVOSTI	92
Jelena Marković, Snežana Mičević, Mevludin Delalić, Edisa Nukić MINIMALNA ENERGIJA UPALE OBLAKA PRAŠINE LIGNITA I MRKIH UGLJEVA KOD UGLJA SA I BEZ MEĐUSLOJEVA	97



Prof.dr.sc. Rejhana Dervišević
Glavni i odgovorni urednik

Poštovani čitatelji, veliko nam je zadovoljstvo naučnoj i stručnoj javnosti ponuditi na uvid novi broj naučno-stručnog časopisa Glasnik Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta.

U šest decenija rada našeg Fakulteta, pored obrazovnog procesa odvijao se i naučnoistraživački rad, realiziran kroz brojne i značajne domaće, evropske i međunarodne projekte koji su doprinijeli razvoju privrede Bosne i Hercegovine, kao i rudarske, geološke i građevinske struke i nauke. Iz svih općih opredjeljenja za naučnoistraživački i naučnonastavni današnja organizacija našeg Fakulteta odvija se kroz pet studijskih odsjeka: Rudarstvo, Geologija, Građevinarstvo, Bušotinska eksploatacija mineralnih sirovina i Sigurnost i pomoć, te naučna polja 1.5, 2.1 i 2.7 (Frascati).

Rad na promociji i podizanju kvaliteta, kao i afirmaciji časopisa, predstavlja veliki izazov za svakog glavnog i odgovornog urednika. Za ostvarenje tog cilja neophodni su aktuelni naučni i stručni radovi, ali i sistemski rad te uspješna saradnja članova Uređivačkog i Savjetodavnog odbora, recenzenata i autora.

Zahvaljujemo autorima koji su naš časopis odabrali za objavu svojih radova. Očekujemo da ćemo i ubuduće nastaviti i proširiti saradnju doprinoseći kako prepoznatljivosti časopisa, tako i promociji naučne misli i naučnoistraživačkih rezultata.

GLINE BUGOJANSKOG UGLJONOSNOG BASENA

Dževad Forčaković¹, Rejhana Dervišević²

SAŽETAK

U radu su prezentirani rezultati istraživanja glina Bugojanskog ugljonosnog basena koji sadrži vrlo značajne, ali ipak nedovoljno istražene rezerve glina.

Na osnovu utvrđenih granica površinskog rasprostranjenja i rezultata istraživanja u Bugojanskom ugljonosnom basenu, evidentno je prisustvo značajnih rezervi kvalitetnih opekarskih glina.

U radu su prikazane opće geološke karakteristike područja, rezerve i kvalitet glina, te njihova prostorna perspektivnost. Gline predstavljaju ekonomski najznačajnije sedimente u okviru bazalne zone (¹M_{2,3}) i plio-kvartarnih (Pl,Q) sedimenata. Na ovom području radi se o kvalitetnim opekarskim glinama, finopjeskovitim i poluplastičnim, žutosmeđe, smeđe i sive boje, koje pripadaju grupi polukiselih glina.

Na osnovu utvrđenih kvantitativno-kvalitativnih karakteristika glina u ovom području, nesumnjivo je da postoji realna mogućnost njihove dosta široke primjene u industriji i građevinarstvu.

S obzirom na sirovinску bazu, opekarske gline nakon uglja predstavljaju najznačajniju mineralnu sirovinu Bugojanskog basena. Pri tome treba imati u vidu, da su istraženi samo određeni lokaliteti, pa je opravdano prognozirati znatno veće rezerve u basenskim okvirima.

S tim u vezi, potrebno je povećati stepen istraženosti, jer su procijenjene rezerve veoma skromne u odnosu na potencijalne mogućnosti. Imajući u vidu njihov povoljan geografski položaj, ispunjeni su svi potrebni preduslovi za razvoj industrijske proizvodnje znatno većeg obima, uz veoma povoljne ekonomske efekte.

Uzimajući u obzir sirovinски potencijal, kao i mogućnost proširenja postojeće sirovinске baze, Bugojanski ugljeni basen ima značaj i za perspektivni razvoj eksploatacije glina.

Ključne riječi: Bugojanski ugljonosni basen, gline, sirovinски potencijal, kvalitativno-kvantitativne karakteristike, prostorna perspektivnost

1. UVOD

Bugojanski ugljonosni basen (Slika 1), u okviru kojeg su situirane značajne rezerve opekarskih glina, smješten je u dolini Vrbasa između Gornjeg i Donjeg Vakufa na površini od oko 130 km² [1].

Gline u glinokopu Ciglane, u jugoistočnom podnožju brda Gradina eksploatisane su još od prije Drugog svjetskog rata pa sve do agresije na BiH kada se prekida sa proizvodnjom. Godišnja proizvodnja bila je oko šest miliona opekarskih jedinica, pri čemu se otkopavalo između 10-12 x 10³ m³ gline.

¹ Dževad Forčaković, MA inž. geologije, RU Gračanica d.o.o. Gornji Vakuf-Uskoplje, Humac bb, Bosna i Hercegovina, dzevad7@live.com

² Prof. Rejhana Dervišević, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, Bosna i Hercegovina, rejhana.dervisevic@untz.ba

U geološkom sastavu Bugojanskog basena učestvuju sedimentne stijene neogena i kvartara. Neogeni sedimenti Bugojanskog basena predstavljaju slatkovodne jezerske tvorevine, koje leže diskordantno preko starijeg osnovnog gorja, kojeg čine srednjetrijski i djelimično gornjokredni sedimenti (sjeverozapadni dio Bugojanskog basena) [3]. Kvartarne tvorevine imaju znatno rasprostranjenje i u istočnom dijelu basena, sjeveroistočno od Bugojna.

U razvoju neogena izdvojen je srednji i gornji miocen (Slika 2), raščlanjen na sedam litostratigrafskih jedinica/članova: bazalni član ($^1M_{2,3}$), drugi podinski ugljeni sloj ($^2M_{2,3}$), član glina, glinoviti pješčara i laporaca ($^3M_{2,3}$), prvi podinski ugljeni sloj ($^4M_{2,3}$), član laporovitih krečnjaka i laporaca ($^5M_{2,3}$), glavni ugljeni sloj ($^6M_{2,3}$) član glina i pjeskovitih glina ($^7M_{2,3}$), te pliocen-kvartar (Pl,Q) [2, 5, 6, 7, 8].

U okviru basena nalazi se više lokaliteta sa opekarskim glinama, i to: Prusac-Potkraj, Guvna-Karići, Milanovići-Udurlije, Jele-Karalinka-Kotezi, Gradina-Hodžinke (eksploatacija vršena do 1992. godine), Kopčić, Vejići, Gornji Boganovci i Paloč. Na ostalim lokalitetima nije vršena eksploatacija.

3. PRIRODNI INDIKATORI GEOLOŠKO-EKONOMSKE OCJENE

3.1. REZERVE GLINA

Pri geološkom istraživanju Bugojanskog basena oprobavane su i gline i urađena odgovarajuća laboratorijska ispitivanja. Analizom geološki istraženih opekarskih glina okonturenih produktivnih prostora Bugojanskog basena u sklopu regionalnih i detaljnih istraživanja identifikovano je više lokaliteta (Slika 3), u kojima je procijenjeno oko 50×10^6 m³ glina shodno prosječnoj debljini glina od 16 metara.

U plitkim bušotinama B-200 i B-201, južno od naselja Prusac, u dijelu terena između asfaltnog puta Prusac – Bugojno i potoka Rigavac, (Slike 1 i 3) u podini drugog podinskog ugljenog sloja ($^1M_{2,3}$), nabušene su naslage sivožutih, finopjeskovitih, poluplastičnih glina debljine oko 7,8 m (B-200), odnosno 6,8 m (B-201). Ispod njih nalaze se naslage sivih, sivopepeljastih i sivozelenih, mjestimično fino pjeskovitih, poluplastičnih glinaca debljine od 26,7 m (B-200) do 60,6 m (B-201), koji su prošarani rijetkim i tanjim slojevima debljine od 0,1-0,4 m uglja lignita; sitnozrnih konglomerata heterogenog sastava (magmati, kvarc, škriljci i dr.), sa glinovitim vezivom; sitnozrnastih brečastih pješčara heterogenog sastava sa glinovito-karbonatnim vezivom; ugljevitog laporovitih krečnjaka; ugljevitih laporaca; rijetko sivo-pepeljastog karbonata (siderit? ankerit), te limonitno-piritne mase sa glinom.

S obzirom na nabušene debljine glina i glinaca (B-200 i B-201), te njihove češće izdanke na površini terena oko njih, na ovom prostoru površine od oko 600 000 m², mogu se očekivati rezerve opekarskih glina od preko 4 miliona m³.

Novootkrivene glinene mase, sličnog kvaliteta sa prethodno opisanim, na prostoru između naselja Milanovići i Karalinke, (Slika 3) potvrđuju da u Bugojanskom basenu, za postojeću opekarsku industriju u Bugojnu, postoje potencijalne rezerve glina, koje su po svom kvalitetu znatno bolje od onih koje su se koristile u dosadašnjoj proizvodnji. Riječ je o perspektivnom prostoru površine 1 300 000 m², gdje se mogu očekivati rezerve opekarskih glina od preko 9,5 miliona m³.

3.2. KVALITET GLINA

Rezultati ispitivanja mineraloškog (DTA, TGA i Rö) granulometrijskog i hemijskog sastava ukazali su da poluplastične gline i glinci u plitkim bušotinama B-200 i B-201 predstavljaju smjesu minerala ilita i kaolinita. Ilit je u njihovoj građi znatno zastupljeniji od kaolinita (sadržaj varira od 10-15 %). Pored glinovitih minerala, u njihovoj građi preovladava kvarc, a u znatno manjim količinama getit, siderit, hlorit i kalcit (samo u bušotini B-201 u intervalu od 35,4-64,4 m) [1].

Učešće pojedinih frakcija u ovim glinama i glincima prezentirano je u tabeli 1.

Tabela 1.

Oznaka probe	Proba uzeta iz	Interval oprobavanja	Učešće frakcija (mm) u %		
			0,2-0,02	0,02-0,002	ispod 0,002
KPGL-200/1	B-200	0,3-8,0	46	32	22
KPGL_200/2	B_200	8,0_34,7	59	20	21
KPGL-201/1	B-201	0,5-6,8	26	45	29
KPGL-201/2	B-201	6,8-35,0	44	32	24
KPGL-201/3	B-201	35,4-64,4	41	34	20
Prosjeak:			oko 43	oko 32	oko 23

Iz prikazanih granulometrijskih podataka uočljivo je da predmetne gline i glinci sadrže frakcije veličine od 0,02 - ispod 0,002 mm preko 50 %, što ukazuje da pripadaju glinama i glincima srednje disperznosti i plastičnosti.

Prosječni hemijski sastav glina i glinaca iz bušotina B-200 i B-201 predstavljen je u tabeli 2.

Tabela 2.

Analizirane komponente	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻
Prosječni sadržaj (%)	56,63	17,68	7,97	1,31	3,02	0,82	3,1	8,74	1,83

Ove naslage glina i glinaca karakterišu se povišenim sadržajem Fe₂O₃ i K₂O, što im pri pečenju opekarskih proizvoda povećava vezujuću moć i čvrstoću (Fe₂O₃), te daje potrebnu plastičnost glinenom tijestu (K₂O). Sadržaj u njima jedne od najštetnijih komponenti CaO je veoma nizak i nalazi se u formi sitnih, u masi ravnomjerno zastupljenih čestica. Obzirom da sadrže Al₂O₃ ispod 30 % ovi glineni sedimenti pripadaju grupi polukiselih glina (od 15-30 % Al₂O₃). Rezultati navedenih ispitivanja kvaliteta ovih glina i glinaca ukazuju na mogućnost njihove uspješne primjene u opekarskoj industriji. Provedene istraživanja su pokazala da u Bugojanskom basenu postoje kvalitetne ciglarske i keramičke gline. U okviru kartiranog terena istražne bušotine, B-22, na lokalitetu Vejići takve gline su nabušene u intervalima od 5,4 do 16,0 m i od 18,5 do 27,0 m dubine, a na bušotini, B-23, Gornji Boganovci, u intervalima od 4,8 do 11,65 m i od 14,65 do 26,2 m dubine. Kompleksnom hemijskom analizom gline sa bušotine B-23, i intervala od 14,65-26,2 m dobiveni su ovi sadržaji: SiO₂ 44,90 %, TiO₂ 1,35 %, Fe₂O₃ 12,97 %, Al₂O₃ 21,96 %, MnO 0,25 %, MgO 0,39 %, CaO 3,90 %, Na₂O 0,53 %, K₂O 1,61 %, H₂O⁺ 4,14 %, H₂O⁻ 10,35 % i P₂O₅ 1,20 %. Dobiveni sastav pokazuje da je štetna komponenta vrlo nisko zastupljena i da je to keramička glina odličnog kvaliteta [1].

3.2.1. Poluplastične do plastične gline

Istraživanjima provedenim na prostorima: Bijeli put-Ograde (oko 1,5 km južno od Prusca), sjeverno od naselja Karadže, u kolskom putu Prusac – Guvna na lokalitetu Karići (neposredno istočno od bušotine BP-1); zapadno od naselja Milanovići, kao i na kolskom putu jugoistočno od Karalinke, registrovan je veći broj izdanaka poluplastičnih do plastičnih glina. Ove vrste glina otkrio je i raskop RP-1b.

Izuzev sivozelene boje gline u bušotini BP-3, gline ostalih prostora predstavljaju smještu žutosmeđih i sivih glina sa većim zapreminskim učešćem žutosmeđih glina. Gline ostalih prostora, kao i u bušotini BP-3 vjerovatno odgovaraju najstarijim dijelovima pliocen-kvartarnih (Pl,Q) tvorevina. S obzirom na rasprostranjenje i česte izdanke ovih, za industriju keramike interesantnih glina, opravdano je očekivati da se detaljnim geološkim istraživanjima mogu dokazati ekonomski značajne rezerve.

Urađene su po jedna proba glina sa lokaliteta: Karići, Milanovići, Hodžinke i iz bušotine BP-3, izvršeno je ispitivanje njihovog hemijskog i mineraloškog sastava (DTA, TGA, Rö) kvaliteta. Na probama sa lokaliteta Karići, kao i iz bušotine BP-3 osim ispitivanja hemijskog i mineraloškog kvaliteta, izvršeno je i ispitivanje njihovog granulometrijskog sastava. Rezultati su pokazali sljedeće karakteristike:

a) Mineraloški sastav

Poluplastične i plastične gline iz naprijed navedenih prostora, kao i iz bušotine BP-3 predstavljaju smješnu minerala kaolinitske ili ilit-montmorilonitske grupe. Sadržaj ilit-montmorilonita, kreće se od 35-50 %, a sadržaj kaolinita je manji i iznosi od 7-30 %. Od ostalih minerala u njihovoj građi učestvuju kvarc (20-35 %), plagioklasi (5-20 %), rijetko siderit 3 % (samo u probi KGP-3/1).

Detalji o mineraloškom sastavu ovih glina prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3.

Oznake ispitivanih proba	Proba uzeta iz	Interval oprobavanja	Lokalitet	Mineraloški sastav (%)		
				Kaolinit	Ilit-montmorilonit	Ostali sastojci
PGK-1	izdanka		Karići-Prusac	30	35-40	Kvarc (20-25) Plagioklas (5-7)
PM-375	izdanka		Hodžinke	5-7	40-50	Kvarc (20-25) Plagioklas (10-20)
JS-274	izdanka		Milanovići	7-8	35-45	Kvarc (25-35) Plagioklas (10-20)
KGP-3/1	BP-3	115,90-134,00	Kukuruska-Guvna	14	35-45	Kvarc (25-35) Plagioklas (7-8) Siderit (?) 3

Uporedbom mineraloškog sastava ovih glina sa mineraloškim sastavom poznatih poluplastičnih do plastičnih glina, koje se koriste u keramičkoj industriji, može se zaključiti da se njihov mineraloški sastav bitnije ne razlikuje.

b) Granulometrijski sastav

Učešće pojedinih frakcija u glinama kolskog puta Prusac-Guvna (lokalitet Karići) i iz bušotine BP-3 prezentiran je u tabeli 4.

Tabela 4.

Oznaka ispitivanih proba	Proba uzeta iz	Interval oprobavanja	Lokalitet	Učešće frakcija (mm) u %		
				0,2-0,02	0,02-0,002	ispod 0,002
PKG-1	izdanka		Karići-Prusac	15	35	50
PKG-3	BP-3	115,90-134,00	Kukuruska-Guvna	17	38	45

Prikazani granulometrijski podaci govore da gline ovih lokaliteta sadrže frakcije veličine od 0,02 ispod 0,002 mm preko 80 %, što ukazuje da pripadaju glinama više disperznosti i plastičnosti.

c) Hemijski sastav

Hemijski sastav glina sa prostora u Karićima, Hodžinkama, kao i iz bušotine BP-3 predstavljen je u tabeli 5.

Prikazani hemijski sastav glina iz Bugojanskog basena, ako se izuzme viši sadržaj Fe_2O_3 i nešto niži sadržaj Al_2O_3 (u probama PM-375, JS-274 i KGP-3/1), bitnije se ne razlikuje od standardnih poluplastičnih i plastičnih glina koje se koriste u keramičkoj industriji. S obzirom da ove gline sadrže Al_2O_3 ispod 30 %, pripadaju grupi polukiselih glina (od 15-30 % Al_2O_3).

Tabela 5.

Oznaka ispitivanih proba	Proba uzeta iz	Interval oprobavanja	Lokalitet	Sadržaj (%)								
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻
PKG-1	izdanka		Karići-Prusac	53,66	27,42	3,74	1,08	2,33	1,13	1,63	2,80	-
PM-375	izdanka		Hodžinke (D.Vakuf)	54,40	23,56	6,08	1,37	2,45	0,73	4,57	6,69	1,25
JS-274	izdanka		Milanovići	56,16	20,79	5,61	1,56	1,36	0,83	4,09	6,13	0,97
KGP-3/1	BP-3	115,9-134,0	Kukuruska-Guvna	62,74	21,78	4,99	1,17	1,77	0,73	3,13	6,80	0,70

Rezultati provedenih ispitivanja kvaliteta ovih glina svakako da ukazuju na mogućnost njihove primjene u keramici, što bi trebalo u fazi detaljnih geoloških istraživanja i provjeriti provođenjem namjenskih tehnoloških ispitivanja, kako u laboratorijskom tako i u industrijskom obimu.

3.2.2. Posne opekarske gline

Na prostoru Milanovića kao i u široj okolini neaktivnog glinokopa Ciglane u Bugojnu na brdu Gradina registrovani su brojni izdanci žutosmeđih i smeđih, nekad manje nekad više fino pjeskovitih glina. Otkrivene naslage glina predstavljaju tipične opekarske gline. Ove gline pripadaju starijim dijelovima pliocen-kvartarnih sedimenata.

Na području sela Paloč, na periferiji Gornjeg Vakufa, za potrebe bugojanske građevinske firme Gorica istražne geološke radove je izvodila bušačka operativna nekadašnjeg Rudnika željezne rude Radovan iz Gornjeg Vakufa. Nabušene su gline dobrog kvaliteta, te su korištene kao ciglarski materijal do 1992. godine. Sedimenti koji izgrađuju ovaj dio terena najvjerojatnije su pliocen-kvartarne starosti.

4. PERSPEKTIVNOST PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

S obzirom na perspektivnost u pogledu resursa glina, u Bugojanskom basenu (Slika 3) mogu se izdvojiti tri kategorije:

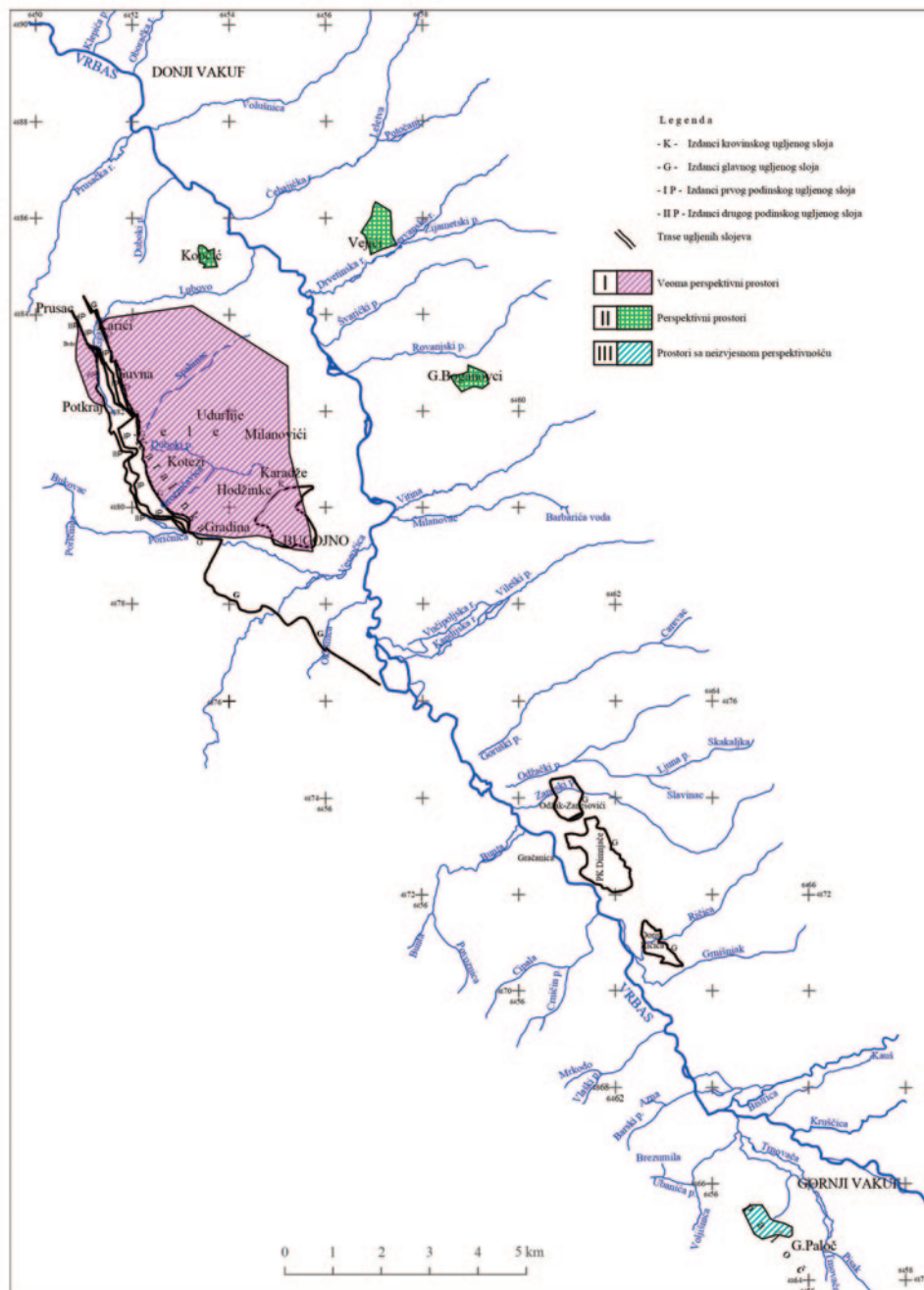
- Veoma perspektivni prostori - ekonomski najznačajniji u basenu,
- Perspektivni prostori – ekonomski značajni u basenu, i
- Prostori sa neizvjesnom perspektivnošću – bez dokazanog ekonomskog značaja.

Veoma perspektivni prostori koji imaju najveći ekonomski značaj u basenu nalaze se na prostoru: Prusac-Potkraj ($d_{sr} = 7,3$ m), Guvna-Karići ($d_{sr} = 7,0$ m), Milanovići-Udurlije ($d_{sr} = 49$ m), Jele-Karalinka-Kotezi ($d_{sr} = 14,75$ m), Gradina-Hodžinke ($d_{sr} = 7,15$ m). Srednja debljina naslaga glina u ovoj kategoriji iznosi 17 metara (za proračun srednje debljine opekarske gline uzeto je u obzir oko 218 izvedenih bušotina).

Perspektivni prostori koji imaju ekonomski značaj u basenu nalaze se na prostoru: Kopčić ($d_{sr} = 7,5$ m), Vejići ($d_{sr} = 20,1$ m) i Gornji Boganovci ($d_{sr} = 18,2$ m). Srednja debljina naslaga glina u ovoj kategoriji iznosi 15,3 metara.

Prostor sa neizvjesnom perspektivnošću, a koji je bez dokazanog ekonomskog značaja, nalazi se na prostoru sela Paloč, površine gdje su samo uočeni izdanci glina i nema podataka o debljini tih naslaga.

Uzimajući u obzir površinu na kojima su zastupljene pliocensko-kvartarne naslage (Pl,Q), u kojima su sadržane gline, osim uskog pojasa Prusac-Potkraj koji pripada srednje do gornje miocenskim sedimentima ($^1M_{2,3}$), može se sa sigurnošću konstatovati da je na ovom području moguće dokazati bilansne rezerve od preko 50 miliona m³ kvalitetnih opekarskih glina. Izdvojeni prostori (Slika 3) predstavljaju potencijalne glinokope.



Slika 3. Karta perspektivnosti gлина Bugojanskog basena (Forčaković Dž.)

5. ZAKLJUČAK

Analizom opekarskih gлина Bugojanskog basena identifikovani su dijelovi basena koji imaju izrazito veliki potencijal i u kojima je moguće realizovati površinsku eksploataciju gлина. Istražene i verifikirane rezerve su veoma male, u odnosu na potencijalne mogućnosti. Kvalitativne karakteristike gлина dobivene ispitivanjima predstavljaju razlog više da se planiraju detaljna geološka istraživanja. Geološko-rudarski uslovi su povoljni, što bi moglo pokazati potencijalnost i perspektivnost cijelog ugljenog basena u još povoljnijem svijetlu.

Dokazane ekonomske i potencijalno eksploatacione rezerve opekarskih gлина pretpostavljaju moguću eksploataciju i otvaranje novih rudarskih pogona. Treba napomenuti da je prikazana rudonosnost basena na niskom stepenu geološke istraženosti. Pored neophodnih aktivnosti na doistraživanju opekarskih gлина Bugojanskog basena pri izradi neophodne rudarsko-tehničke i

investicione dokumentacije za otvaranje novih rudarskih pogona, pažnju treba obratiti i na društveni faktor, odnosno stepen naseljenosti prostora.

U ovom basenu za sada se ne eksploatišu opekarske gline, iako njihove rezerve, poslije uglja imaju najveću ekonomsku vrijednost na ovom području. Prezentirani podaci ukazuju na veliku potencijalnost i perspektivnost opekarskih glina Bugojanskog basena, što predstavlja osnovu za dodatna istraživanja, opravdanu i ekonomičnu eksploataciju glina i na mogućnost izbora prioriteta lokaliteta za eksploataciju. S obzirom i na povoljan geografski položaj ovog područja, ispunjeni su svi potrebni preduslovi za razvoj industrijske proizvodnje, uz veoma povoljne ekonomske efekte.

Na osnovu savremenih gledanja i ocjene, upoređujući uslove na sličnim ležištima, može se zaključiti da su opšti geološki i tehničko-eksploatacioni faktori relativno povoljni i upućuju na moguću rentabilnu eksploataciju ležišta.

LITERATURA

1. Čičić, S.: Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine. Earth science institute, 350, Sarajevo. 2002 [6]
2. Džonlagić, Dž., Žugić M.: Konačni godišnji izvještaj o regionalnim geološkim istraživanjima uglja Bugojanskog bazena. Geoinstitut - Sarajevo. 1983-1987 [2]
3. Forčaković, Dž.: Potencijalnost uglja u ležištima Bugojanskog bazena. Magistarski rad. Univerzitet u Tuzli. 2014 [4]
4. Forčaković, Dž.: Konačni izvještaj o detaljnim geološkim istraživanjima uglja u sjeverozapadnom dijelu Bugojanskog bazena. JP EP BiH d.d. Sarajevo, ZD Rudnik uglja Gračanica d.o.o Gornji Vakuf-Uskoplje. 2014-2018 [3]
5. Forčaković Dž. i Operta M.: Potencijalnost sirovinke baze povlatnih glina zapadnog dijela Bugojanskog bazena i mogućnost korištenja, Zbornik radova RGGF XXXVI u Tuzli, Tuzla 2012 [1]
6. Soklić, I.: Fosilna flora i fauna Bosne i Hercegovine, ANU BiH, Sarajevo. 2000 [5]
7. Vrabac, S., Đulović I.: Izvještaj o makropaleontološkim i mikropaleontološkim istraživanjima uzoraka jezgra bušotina K-40, K-58 i K-45 iz revira Kotezi Bugojanskog ugljonosnog bazena. FSD RGGF-a Univerziteta u Tuzli, Tuzla. 2017 [7]
8. Vrabac, S., Đulović I.: Izvještaj o makropaleontološkim i mikropaleontološkim istraživanjima uzoraka jezgra bušotina K-80 iz revira Kotezi Bugojanskog ugljonosnog bazena. FSD RGGF-a Univerziteta u Tuzli, Tuzla. 2018 [8]

PODZEMNE VODE KAO GEOMANIFESTACIJA STRUKTURNO-TEKTONSKIH ODNOSA U SLIVU RIJEKE KRIVAJE

Ferid Skopljak¹, Ćazim Šarić², Izet Žigić³, Dinka Pašić-Škripić⁴

SAŽETAK

Geomanifestacije su izrazite manifestacije tekućeg ili prošlog geološkog procesa. Najčešće ukazuju na specifične geološke uslove i zbog toga mogu biti važni izvori informacija za bolje razumijevanje geoloških prilika u nekom području. Neke od najčešćih geomanifestacija su seizmotektonska aktivnost, horizontalna i vertikalna tektonska kretanja, pojave plina, uslovi lokalizacije i razlike u fizičko-hemijskom sastavu podzemnih voda, termalne anomalije, pojave mineralnih ležišta, hidraulički karakter akvifera, zone pod pritiskom i osobite geomorfološke karakteristike.

Geološkim i hidrogeološkim proučavanjima i istraživanjima u slivu rijeke Krivaje utvrđeno je niz geomanifestacija kao što su seizmotektonska aktivnost, duboki rasjed Krivaje, navlake velikih razmjera, pojave i ležišta metala, pojave izvora termalne i hladne vode u neposrednoj blizini, te pojave plina CO₂.

Naše prve procjene prilikom hidrogeoloških istraživanja ovih terena pokazale su da podzemne vode u slivu rijeke Krivaje predstavljaju prvorazrednu geomanifestaciju za bolje razumijevanje izuzetno složenih strukturno-tektonskih odnosa, te evoluciju geoloških procesa terena koji gravitiraju rijeci Krivaji.

Analizom geoloških, strukturno-tektonskih i hidrogeoloških karakteristika terena, te ispitivanjima hemijskog i izotopskog sastava podzemnih voda došli smo do saznanja da su strukturno-tektonski odnosi predisponirali ukupne hidrogeološke odnose u ovom prostoru, te da su strukturno-tektonski odnosi od prvorazrednog značaja za genezu termalnih i hladnih voda u slivu rijeke Krivaje. Izvori termalnih i hladnih voda koji se u slivu rijeke Krivaje, kao po pravilu, pojavljuju skoro u neposrednoj blizini, kao važna geomanifestacija ukazuju na prisustvo dvije strukturne etaže u građi terena, u kojem su trijaski karbonati donje strukturne etaže akvifer termalnih voda, a trijaski karbonati gornje strukturne etaže akvifer hladnih podzemnih voda.

Gljučne riječi: geomanifestacije, podzemne vode, strukturno-tektonski odnosi, trijas, durmitorska navlaka, bosanski fliš, rasjed Krivaje

1. GEOGRAFSKI POLOŽAJ IZVORA PODZEMNIH VODA

Izvori podzemnih voda u slivu rijeke Krivaje pojavljuju se od Knežine na jugoistoku preko Olova do Kovačića na sjeverozapadu (sl.1). Udaljenost između izvora u Knežini i Kovačićima je preko 30 km što pored skoro linijskog rasporeda ukazuje na određenu zakonomjernost njihovog pojavljivanja. Izvori termalne vode u ovom prostoru su Toplik u Knežini, Podlipnik, Zelen vir u Olovu, Terma u Olovu, Solun, Kovačići, Orlja i Očevija, dok su izvori hladnih voda Knežak u Knežini, Vrutak u Podlipniku, Zelen vir u Olovu, Jasen u Olovu, Orlja u Orlji, Vrela u Očeviji, Studenac u Solunu i Krstac u Kovačićima.

¹ Prof. Ferid Skopljak, Geological Survey Federation of the Bosnia and Herzegovina, Ustanička 11, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, fskopljak@yahoo.com

² Mr. Ćazim Šarić, Geological Survey Federation of the Bosnia and Herzegovina, Ustanička 11, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, cazim8@gmail.com

³ Prof. Izet Žigić, University of Tuzla, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, Univerzitetska 2, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, izet.zigic@untz.ba

⁴ Prof. Dinka Pašić-Škripić, University of Tuzla, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, Univerzitetska 2, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, dinka.pasic@untz.ba



Slika 1: Geografski položaj termalnih i hladnih izvora u slivu rijeke Krivaje, M 1:200 000

2. GEOLOŠKA GRAĐA

U geološkoj građi terena u slivu rijeke Krivaje učestvuju tvorevine paleozoika, trijasa, jure, jura-krede i kvartara (sl.2).

Stijene paleozojske starosti izdvojene su samo na jednom malom prostoru kod Brgula, sjeveroistočno od Vareša, gdje su predstavljene kvarc-liskun-hloritskim škriljcima, glinenim škriljcima, metapješčarima i lititima. Ove naslage u dolini rijeke Krivaje sasvim izvjesno zaliježu duboko ispod trijaskih naslaga.

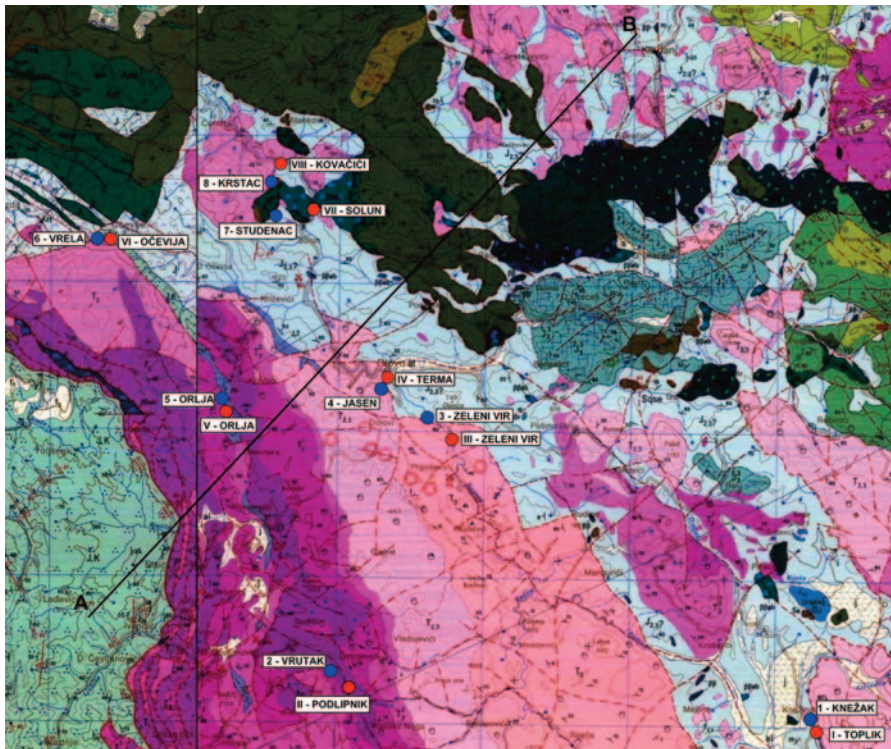
Trijas je predstavljen svim katovima donjeg, srednjeg, srednje-gornjeg i gornjeg trijasa.

Donjotrijaske naslage su razvijene od Rakove Noge i Podlipnika na jugoistoku preko Krivajevića do Očevije na sjeverozapadu. Donji trijas je raščlanjen u dva superpoziciona paketa; donji paket (1T_1) predstavljen bankovitim i masivnim kvarcnim i kvarc-liskunovitim pješčarima ukupne debljine 300-500 m, te gornji paket donjeg trijasa (2T_1) u kojem pješčari starijeg verfena postupno prelaze u seriju laporaca, pješčara i krečnjaka sa provodnom faunom kampilskog kata. Oni navise postupno prelaze u anizijske krečnjake. Debljina ovog paketa donjeg trijasa je oko 200 m.

Srednji trijas je predstavljen naslagama anizika i ladinika koje veće rasprostranjenje imaju od Rakove Noge na jugoistoku preko Bijambara do Očevije na sjeverozapadu, te podređeno sa desne strane Bioštica u rejonu Mangurića. Anizijske, pretežno krečnjačke naslage, debljine oko 400 m leže normalno preko naslaga donjeg trijasa. Naslage ladinika su razvijene u dva superpoziciona paketa; donji paket (1T_2) koji izgrađuju rožnaci, glinci, tufozni pješčari, laporci i, podređeno, krečnjaci ukupne debljine oko 100 m, te gornji paket (2T_2) u čijem sastavu dominiraju crvenkasti pločasti krečnjaci, zatim krečnjaci sa kvrgama i proslojcima rožnaca, ukupne debljine oko 150 m. U krečnjacima sa rožnacima su u dolini Ljubine, u rejonu Ivančića i Čevljanovića formirana ležišta mangana.

Naslage srednjeg i gornjeg trijasa najveće rasprostranjenje imaju na lijevoj strani Bioštica iznad Olova, od Imamovića do Dolova, te sjeveroistočno od Knežine. Predstavljene su uglavnom debelim paketima sprudnih bankovitih i masivnih krečnjaka debljine oko 450 m.

Gornji trijas predstavljen je pretežno krečnjacima koji veće rasprostranjenje imaju na pravcu Medojevići - Kruševo - Prgoševo. U krečnjaci gornjeg trijasa registrovane su brojne pojave i ležišta ceruzita. Debljina krečnjaka gornjeg trijasa je oko 500 m.



Slika 2. Geološka karta terena u slivu rijeke Krivaje (OGK 1:100 000, list Vlasenica, Strajin, V. et al., 1972.)

Donja jura (J₁)

Donjojurski laporovito-krečnjački sedimenti pružaju se u vidu uskih pojaseva širine 200-500 m; od rijeke Orlije na sjeverozapadu preko Krivajevića i Čevljanovića do rijeke Rače na jugoistoku. Skoro paralelno sa ovim pojasom nešto sjevernije, između Očevije i Križevića, pruža se drugi pojas ovih naslaga. Superpozicijski, ove naslage leže između sprudnog razvoja srednjeg i gornjeg trijasa i jurske vulkanogeno-sedimentne formacije, te se pretpostavlja da pripadaju donjoj juri. U prilog tome je da osim radiolarija u sedimentima ove jedinice nije konstatovana druga fauna. Prilično je nejasan njihov strukturni položaj ali se sasvim opravdano može pretpostaviti da je uzrokovan „Durmitorskom navlakom“. Debljina sedimenta donje jure je oko 100 m.

Srednja-gornja jura (J_{2,3})

Tvorevine srednje-gornje jure predstavljene su vulkanogeno-sedimentnom formacijom (neki autori ovu formaciju nazivaju „dijabaz-rožnačka formacija“) koja ima veliko rasprostranjenje u slivu rijeke Krivaje; od Knežine na jugoistoku do Kovačića na sjeverozapadu, gdje učestvuju u građi planina Konjuh i Zvijezda. Vulkanogeno-sedimentna formacija jure (Olujčić, J. et al. 1978.; Strajin, V. et al. 1978.) izgrađena je od različitih sedimentnih stijena (pješčari, glinci, rjeđe rožnaci i podređeno konglomerati, breče), a pored njih su u njenom sastavu i velike mase magmatskih stijena (naročito su česti ultramafiti s bazičnim pratiocima, tzv. ofioliti), uz relativno manje količine metamorfita. Debljina vulkanogeno-sedimentne formacije jure se procjenjuje na preko 1.000 m.

Gornja jura (J₃)

Gornjojurske naslage izdvojene su nedaleko od Olova u slivu Stupčanice gdje leže diskordantno preko vulkanogeno-sedimentne formacije jure. Ovdje je gornja jura razvijena u dvije facije, klastičnoj i karbonatnoj; klastična facija pripada donjem (starijem) paketu, a karbonatna, gornjem (mlađem). Klastična facija gornje jure je debljine 200-250 m a karbonatna oko 400 m.

Jura - kreda (J,K)

Naslage jura-krede najveće rasprostranjenje imaju u širem rejonu Nišičke visoravni, dok je jedan uski pojas otkriven između Očevije i Orlije. Jura-kreda je predstavljena debelim kompleksima flišnih sedimenta („Bosanski fliš“) u čijem sastavu su krečnjačke breče, kalkareniti, pješčari, laporci i glinci. Debljina jursko-krednog fliša nije ustanovljena na ovom prostoru, ali se procjenjuje do 600 m.

Kvartar

Kvartarne naslage su utvrđene u dolini Krivaje i njenih glavnih pritoka Bioštica i Stupčanice. Predstavljene su, uglavnom, aluvijalnim naslagama (al) u čijem sastavu su krupne valutice stijena, šljunak i pijesak koji su mjestimično u većoj i manjoj mjeri zaglinjeni.

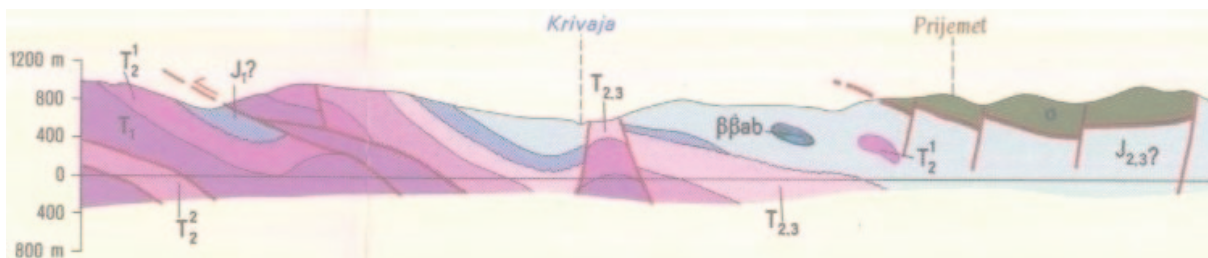
3. STRUKTURNO-TEKTONSKE KARAKTERISTIKE

Teren u slivu rijeke Krivaje odlikuje vrlo složen tektonski sklop koji nije detaljno i sveobuhvatno proučavan. Strukturno-tektonski odnosi ovog prostora obuhvaćeni su uglavnom regionalnim razmatranjima geotektonske građe Jugoslavije i kasnije Bosne i Hercegovine, sa često dijametralno različitim shvatanjima pojedinih autora u pogledu geotektonske rejonizacije ovog dijela Dinarida; počev od J.Cvijića (1900.-1924.), L.Kobera (1913.-1929.), F.Kosmata (1924.), V.Pekovića (1931.), K.Petkovića (1961.), W.Medwenitsca-B. Sikoška (1965.), M.Miladinovića (1972.), D.Dimitrijevića (1974.), A.Grubića (1980.), M.Anđelkovića (1982.), M.Heraka (1991.), S.Čičića (2002.), H.Hrvatovića (2006.), S.M.Schmid (2008.), M.v.Unen (2019.), i dr.

U ovom radu izvršena je analiza skoro svih objavljenih radova koji su kroz razmatranje geotektonske rejonizacije i strukturno-tektonskih odnosa obuhvatili prostor u slivu rijeke Krivaje. Poseban akcenat dat je na najvažnije radove koji su se bliže odnosili na strukturno-tektonsku građu ovog i susjednih terena na osnovu kojih je, uz analizu geneze termalnih i hladnih podzemnih voda, izvršena interpretacija strukturno tektonskih odnosa u slivu rijeke Krivaje.

Prema OGK list Vlasenica (Strajin, V. et al 1978.) i Vareš (Olujić, J. et al 1970.) prostor u slivu rijeke Krivaje pripada strukturno-facijalnim jedinicama: „Romanija“, „Centralna ofiolitska zona“ i „Drinsko-ivanjički paleozoik“.

Strukturno-facijalna jedinica „Romanija“ je u ovom prostoru predstavljena „Tektonskom jedinicom Romanija“ koja se može pratiti od Romanije preko Olova do Vareša. Južna granica ove jedinice je navlaka izgrađena uglavnom od trijaskih klastita i krečnjaka, navučene preko tektonskih jedinica „Ozren“ i „Nišići-Crepoljsko“, a dijelom i preko zone „Sarajevsko-banjalučkih fliševa“. Sjeveroistočna granica uglavnom je rasjedna i diskordantna prema vulkanogeno-sedimentnim tvorevinama jure. Ova jedinica predstavlja krilo antiklinale s blagim tonjenjem prema sjeveroistoku koje je rasjedima dinarskog pravca i upravno na dinarski pravac izdvojeno u više manjih blokova s generalnim padom prema sjeveroistoku.

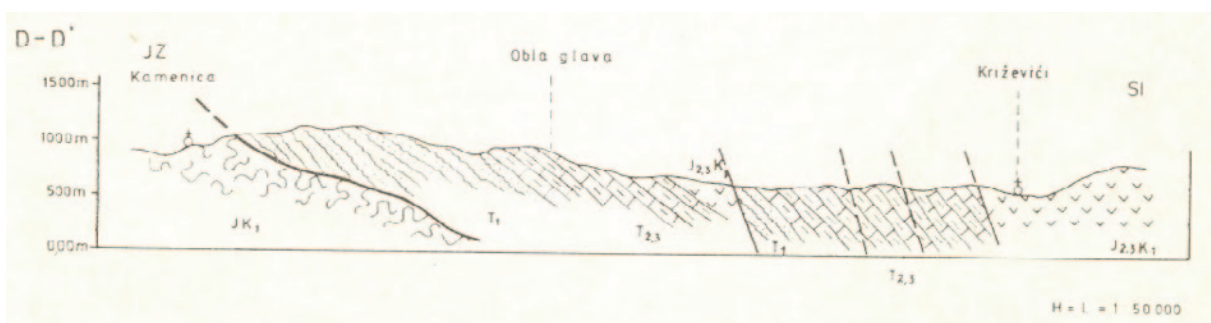


Slika 3. Geološki profil preko rijeke Krivaje (Izvor: OGK list Vlasenica, M 1:100.000, Strajin, V. et al 1978.)

Strukturno-facijalna jedinica „Centralna ofiolitska zona“ izgrađena je najvećim dijelom od stijena jurske vulkanogeno-sedimentne formacije. Pored ovih, uz ovu formaciju dolaze i jursko-kredne klastične tvorevine („Pogarska serija“ i dr.). Podređeni su trijaski sedimenti (sjeverni dijelovi vareške trijaskе strukture), ili oni dolaze uz rasjedne zone unutar jurske vulkanogeno-sedimentne formacije. Jurska vulkanogeno-sedimentna formacija je jako tektonizirana pa u pojedinim dijelovima ona predstavlja melanžnu tvorevinu. U okviru „Centralne ofiolitske zone“ izdvojene su četiri manje jedinice: „Krivajsko-konjuški ultramafitski masiv“, „Jugozapadni obod krivajsko-konjuškog masiva“, „Pogarsko-ponijerska sinklinala“ i „Sjeverno krilo vareške strukture“. „Centralna ofiolitska zona“ je složenog sastava u kojoj od sedimenata dominantnu ulogu imaju: pješčari, glinci i rožnaci, te olistoliti trijaskih krečnjaka. Od magmatskih stijena najzastupljeniji su ultramafiti (peridotiti) Konjuha, zatim bazične stijene među kojima najčešće dijabazi, spiliti i gabrovi, te amfiboliti od metamorfnih stijena. Na profilu OGK list Vlasenica uočavase da su tvorevine „Centralne ofiolitne zone“ izdvojene u povlati srednje-gornjotrijaskih naslaga bez tektonskog karaktera kontakta (sl.3).

Strukturno-facijalna jedinica „Drinsko-ivanjički paleozoik“ predstavljena je tektonskom jedinicom nižeg reda „Han Pijesak-Devetak-Knežina“. Ova jedinica je izgrađena od trijaskih krečnjaka koji tektonski leže preko „Centralne ofiolitske zone“. Strukturno, to su tektonski listovi oboda drinskog paleozoika koji su u vrijeme zatvaranja centralno-bosansko ofiolitskog prostora otkidani od oboda i kretani preko ofiolitskog kompleksa kao tektonski listovi, a dijelom su u njega ugrađeni kao olistoliti. Pojedini blokovi ove jedinice rasjedima su razdvojeni (otkinuti) i duže transportovani.

Miladinović, M. (1972.) u širem području planine Zvijezde izdvaja „autohtone“ terene i „navučene“ mase sedimentnih i magmatskih stijena kao produžetak navlake (durmitorske prim.aut.) iz pravca Sarajeva. Autohtone terene čine debele serije jursko-krednog fliša koje su intenzivno ubrane a zahvataju terene između gornjih tokova Ljubine i Misoče preko Nišića i dalje prema Varešu, Zgošći i Vranduku. „Durmitorskoj navlaci“ u ovim terenima, prema Miladinoviću, pripadaju slojevi donjeg i srednjeg trijasa, kompletne jure kao i ofiolitske i druge magmatske stijene. Naslage donjeg i srednjeg trijasa su navučene na jursko-kredni fliš, a trijasko područje Vareša i Borovice je najistureniji sjeverozapadni dio „Durmitorske navlake“. Ono što je interesantno da Miladinović ofiolitski masiv Konjuha uvrštava u sastav „Durmitorske navlake“!?



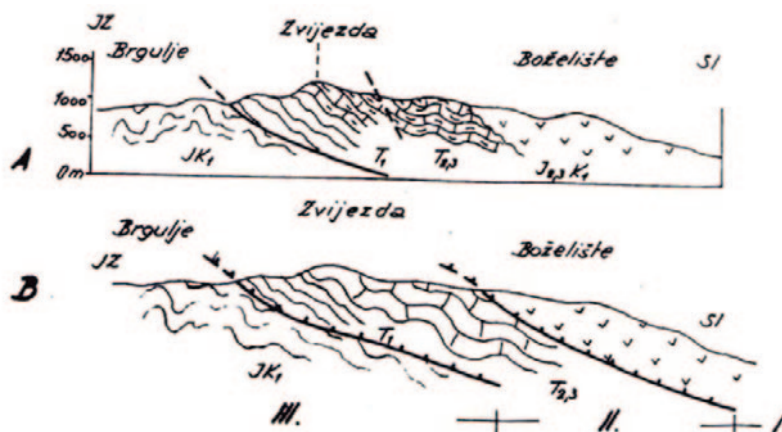
Slika 4. Geološki profil preko planine Zvijezde i rijeke Krivaje (Miladinović, M. 1972.)

Prema M. Anđelkoviću (1982.) prostor u slivu rijeke Krivaje ulazi u sastav „Ibarske zone“, „Drinske zone“, „Limske zone“ i „Bosanske zone“.

„Ibarskoj zoni“, odnosno „Ibarskom mezošarijažu“ najvećim dijelom pripadaju tereni između Olova i Kladnja. U njihovom sastavu je najveći masiv ofiolita poznat kao „krivajsko-konjuški masiv“ kojim su pridružene tvorevine vulkanogeno-sedimentne serije (srednje-gornja jura, prim aut.) sa sprudnim titonberijaskim krečnjacima. U bazi ofiolitsko-radiolaritskog kompleksa su, prema Anđelkoviću, trijaski i lijasko-dogerski cefalopodski krečnjaci, dok transgresivno i diskordantno preko njih, kao molasne tvorevine, leže maglajski klastiti i karbonatno-klastične naslage barema i apta, te gornjokredne tvorevine (loc.cit. str. 335). Sjeverozapadno od Vareša je ovaj ofiolitski kompleks navučen na fliš „Bosanske zone“.

„Drinskoj zoni“, odnosno „drinskom mezošarijažu“ prema Anđelkoviću (str. 349) pripadaju dijelovi terena između Kladnja, Olova, Sokoca i Vlasenice. „Drinski mezošarijaž“ je predstavljen jednom karbonatnom trijaskom pločom koja je navučena preko „Ibarskog mezošarijaža“ u toku donje krede (mladodinarska faza). Naknadnim tektonskim pokretima ova šarijaška ploča, izgrađena od srednje i gornjotrijaskih karbonata, razbijena je na posebne blokove koji su modificovani erozijom i predstavljaju manje ili veće tektonske klippe u rejonu Knežine, Olova i Kladnja i dr.

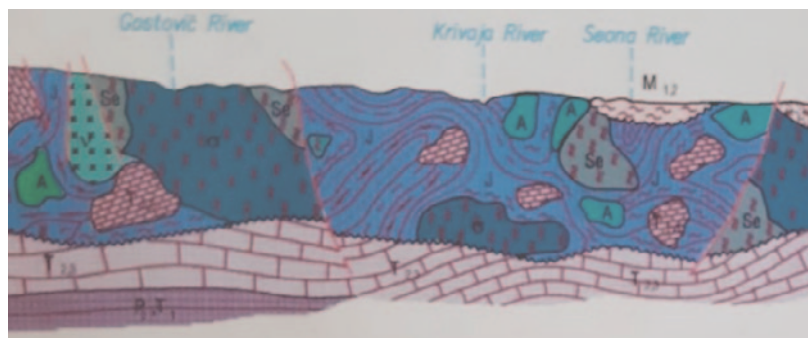
„Limskoj zoni“ prema Anđelkoviću (str. 365) pripada „Vareška navlaka“ koja se pruža od Borovice na sjeverozapadu preko Vareša, Zvijezde i Ozrena dalje na jugoistok preko Romanije i Prače do Lima (ova navlaka se u nekim radovima naziva „durmitorska navlaka“ prim.aut.). U sastav „Vareške navlake“ ulaze podređeno paleozojske, a uglavnom trijasko tvorevine koje su od Borovice do Ozrena (sarajevskog) navučene na fliš „Bosanske zone“. Unutrašnja građa ove navlake predstavljena je „Vareškim antiklinorijumom“ sa normalnim, poleglim i prevrnutim borama, razbijenim na posebne kraljušti koje su navučene jedna preko druge u pravcu jugozapada. Prema Anđelkoviću „Vareška navlaka“ na sjeveroistoku tone ispod „Ibarskog mezošarijaža“, što može imati veliku ulogu za hidrogeološke prilike i pojavu hladnih i termalnih voda u slivu rijeke Krivaje. Mjestimično je u slivu rijeke Krivaje preko „Vareške navlake“ navučen „Ibarski mezošarijaž“ (ofiolitno-radiolaritski kompleks) kao što je slučaj u rejonu Zvijezda planine kod Vareša (sl. 5).



Slika 5. Profil preko Zvijezde; A-po Miladinoviću; B- po Anđelkoviću (M.Anđelković 1982 str. 366)
 B I-barski mezošarijaž (ofiolitsko-radiolaritski kompleks); II - limska zona (vareška navlaka-trijaske tvorevine);
 III - bosanska zona (bosanski fliš-vrandučka navlaka)

„Bosanskoj zoni“ prema Anđelkoviću (str.382) pripada „Vrandučka navlaka“ koja se u ovim terenima od Zenice do Sarajeva pruža jugozapadnim padinama Ravte i Zvijezda planine. U sastav „Vrandučke navlake“ najvećim dijelom ulazi „Bosanski fliš“ koji leži preko vulkanogeno-sedimentne serije gornje jure, a dijelom i trijaskih tvorevina. Na sjeveroistoku je od Banja Luke do Borovice preko „Vrandučke navlake“ navučen ofiolitsko-radiolaritski kompleks „Ibarskog mezošarijaža“, a dalje prema jugoistoku do Sarajeva je preko „Vrandučke navlake“ navučena „Vareška navlaka“. Unutrašnja građa „Vrandučke navlake“ je veoma složena; izgrađena je od metarskih i dekametarskih nabora koji su normalni, izoklini ili prevrnuti sa vergencama prema zapadu ili jugozapadu. Jugoistočno od Vareša u „Vrandučkoj navlaci“ pojavljuju se bore sa pravcem pružanja SSZ-JJI ili SZ-JI. „Bosanska zona“ izgrađena od vodonepropusnog fliša ima veliku ulogu za hidrogeološke prilike, te za pojavu hladnih i termalnih voda u slivu rijeke Krivaje.

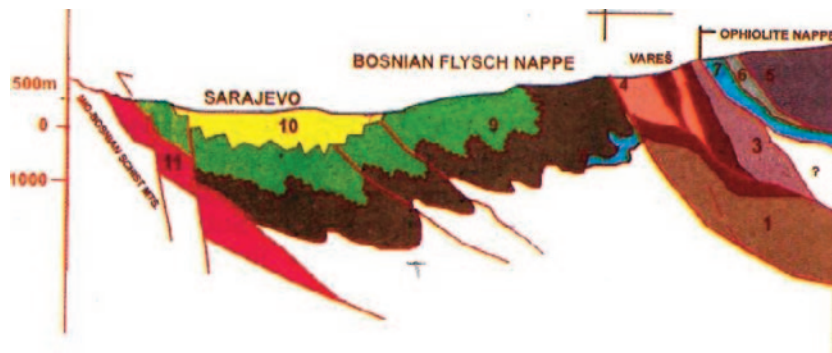
Čičić, S. (2002.) prostor u slivu rijeke Krivaje smješta na prelazu središnjih i unutrašnjih Dinarida Bosne i Hercegovine. Važno je primjetiti da Čičić na profilu preko rijeke Krivaje (sl.6.) prikazuje trijasku karbonatnu naslagu u podini „dijabaz-rožnačke formacije“ (vulkanogeno-sedimentne serije gornje jure), te da su u njoj povlati mjestimično krečnjaci gornje jure i krede (loc.cit. str. 264). Debljinu „dijabaz-rožnačke formacije“ kako je naziva Čičić procjenjuje na cca 600-1500 m.



Slika 6. Profil preko Gostovičke rijeke, Krivaje i Seone (S.Čičić 2002.)
 Hrvatović, H. (2006.) u slivu rijeke Krivaje izdvaja četirivelike navlake; „Golijisku navlaku“;
 „Ofiolitsku navlaku“, „Durmitorsku navlaku“ i navlaku „ Bosanskog fliša“.

„Golijiska navlaka“ odgovara dijelu „unutrašnje paleozojske zone“ prema Petkoviću (1961.), odnosno „zoni Golije“ prema Obuen (1974.) i „Drinskom mezošarijažu“ prema Anđelkoviću (1982.). Ova navlaka obuhvata drinski paleozoik (područje Vlasenica, Bratunac, Srebrenica) sa trijaskim pokrovom na njegovom jugozapadnom obodu, koji je navučen preko „Ofiolitne navlake“. Golijiska navlaka je prema Hrvatoviću vjerovatno dio velike navlake koja započinje u sjeverozapadnim Dinaridima sa Panonskom navlakom (Miladinović, 1974) koja se produžava na jug u zapadnomakedonski paleozoik.

„Ofiolitna navlaka“ je prema Hrvatoviću najveća navlačna struktura Unutrašnjih Dinarida. Ofiolitne formacije ove navlake najbolje su otkrivene u dolini rijeke Bosne i Krivaje gdje je dalje na jugoistoku preko nje navučena „Golijiska navlaka“. „Ofiolitnu navlaku“ Hrvatović dijeli na dvije etaže: donju etažu izgrađuje



Slika 7. Geološki profil Sarajevo-Vareš (H. Hrvatović, 2006.)

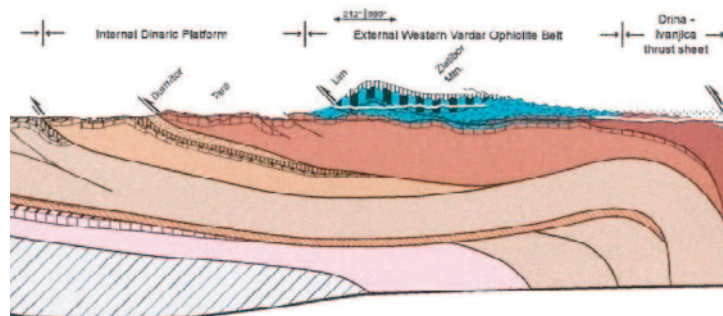
Legenda: 1 - Paleozoik istočne Bosne; 2 - Siliklastični sedimenti donjeg trijasa, 3 - Anizički krečnjaci, 4 - Ladinički rožnjaci, breče, tufovi i krečnjaci; 5 - Ofiolitski melanž; 6 - „Divlji“ fliš; 7 - Baza bosanskog fliša; 8 - J,K - para fliš; 9 - Gornjokredni i palogeni fliš; 10 - Sedimenti Sarajevsko - zeničkog basena, 11- Trijaskie formacije

„radiolaritna formacija“, a gornju olistostromski ofiolitni melanž i ultramafiti. U gornjem i znatno debljem dijelu ofiolitne navlake, izgrađenom od olistostromskog melanža, u Bosni izdvojio je dvije navlake drugog reda: 1) „Donja Ofiolitna navlaka“ uključuje ultramafitne masive Borje-Mahnjača-Krivaja i 2) „Gornja Ofiolitna navlaka“ koja uključuje ultramafitne masive Ljubić-Ozren-Konjuh. „Ofiolitna navlaka“ je prema Hrvatoviću, u područja Vareša, te u pravcu jugoistoka, navučena preko „Durmitorske navlake“, dok je prema sjeverozapadu navučena na navlaku „Bosanskog fliša“ (sl. 7.).

„Durmitorska navlaka“ je prema Hrvatoviću izgrađena pretežno od trijaskih, uglavnom karbonatnih stijena, uz podređene klastične i silicijske sedimente i vulkanite. Ova navlaka se u Bosni može pratiti od Vareša preko Čevljanovića do Sarajeva dalje na jug. „Durmitorska navlaka“ navlaka je navučena na „Bosanski fliš“. Ovu navlaku Anđelković naziva „Vareška navlaka“ koja ima odlučujući uticaj na hidrogeološke odnose i pojavu hladnih voda, kako u dolini rijeke Krivaje, tako i u slivu rijeke Bosne na jugozapadu.

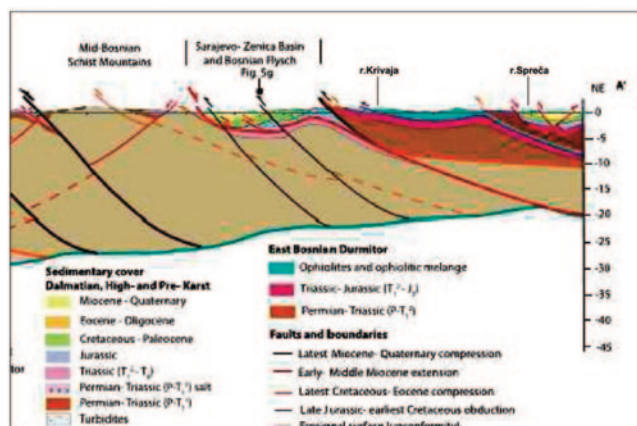
„Navlaka Bosanskog fliša“ je prema Hrvatoviću (2006.) izgrađena od lijaskih do donjopaleogenih pretežno flišnih formacija ina ovim prostorima se može pratiti od Sarajeva do Banja Luke gdje nje leži ofiolitna navlaka. „Navlaka Bosanskog fliša“ ima specifičan i složen tektonski sklop; predstavlja skup nabora: uspravnih, prevrnutih, polehlih, zagnjurenih i izoklinih sa generalnom vergencijom prema jugozapadu sa osama različite orijentacije. Nabori su u velikoj mjeri nastali pod uticajem pokrovne „Durmitorske navlake“ i to podvlačenjem (loc.cit.str.38). „Navlaka Bosanskog fliša“ ima važnu ulogu u ukupnim hidrogeološkim odnosima u ovom dijelu Dinarida, kako „Zeničko-sarajevskom basenu“, tako i u slivu rijeke Krivaje, jer je uzrokovala pojavu akvifera termalnih voda u ovim prostorima.

S.M Schmid (2008.) sa saradnicima u radu o korelaciji i evoluciji tektonskih jedinica Alpa, Karpata i Dinarida daje, između ostalog, geološki profil preko Dinarida (sl. 8). Činjenica je da profil samo malim dijelom prelazi preko Bosne i Hercegovine i ne prolazi preko Krivaje, ali se sasvim izvjesno može korelirati sa geotektonskom građom ovih prostora. Na profilu područje „Durmitorske navlake“, u čijem sastavu su paleozojske i trijaskie naslage, pripada internoj Dinaridskoj platformi (Internal Dinaric Platform), odnosno East-Bosnia-Durmitor jedinici. Naglašeno je navlačenje zapadno Vardarske ofiolitne jedinice (ofiolitsko-radiolaritski kompleks, prim.aut.) preko trijaskih naslaga, kao što je slučaj u dolini rijeke Krivaje.



Slika 8. Geološki profil preko Dinarida-dio profila (S.M.Schmid, 2008.)

M.v. Unen i saradnici (2019.) daju pažnje vrijedan geološki profil kroz Dinaride Bosne i Hercegovine koji, između ostalog, presjeca i dolinu Krivaje. Na ovom profilu su u slivu rijeke Krivaje ofioliti i ofiolitski melanž



Slika 9. Geološki profil preko Dinarida (M.v.Unen, 2019.)

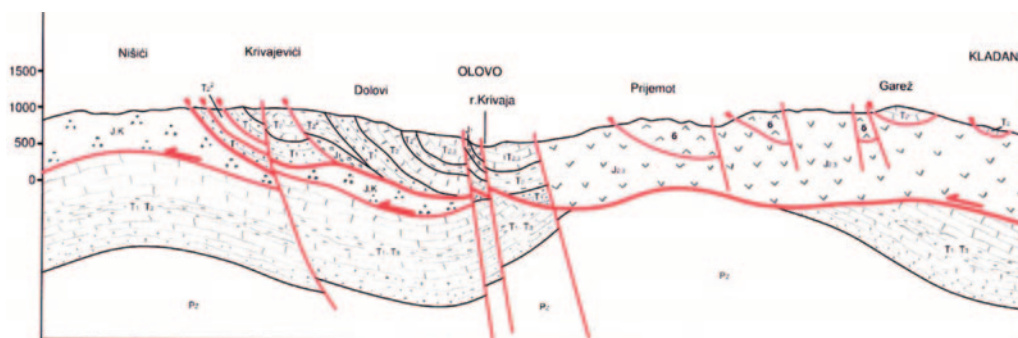
(gornja jura, prim.aut.) navučeni na trijaskie naslage ispod kojih leže permotrijaske tvorevine (sl.9). Ove tvorevine su prema navedenim autorima dijelovi „East Bosnian Durmitor“ zone navučene na tektonsku jedinicu „High and Pre-Karst“ što je interesantan zaključak koji, između ostalog, može doprinijeti proučavanju geneze termalnih voda u slivu rijeke Krivaje, ali i dalje u dolini Bosne na jugozapadu i dolini Spreče na sjeveroistoku.

Najvažniji rasjed u slivu rijeke Krivaje je rasjed koji se pruža kanjonom i dolinom rijeke Krivaje. Prema Hrvatoviću (2006.) to je dubinski rasjed koji se pruža više stotina kilometara od Prijedora i Banja Luke do Žepča i dalje preko Olova sve do Višegrada. Za ovaj dubinski rasjed mogu se vezati zabilježeni epicentri zemljotresa u Prijedoru, Banja Luci, Žepču i istočnoj Bosni. Rasjed prema Hrvatoviću (2006.) dopire do Mohorovičićeva diskontinuiteta na dubini od 30-35 km. Ima veliku ulogu za dotok termalnih voda iz trijaskog karbonatnog akvifera koji zaliježe duboko ispod navlake bosanskog fliša.

Na osnovu analize strukturno-tektonskih odnosa u slivu rijeke Krivaje od strane navedenih autora, te proučavanja strukturno-tektonskih odnosa u korelaciji sa hidrogeološkim prilikama u slivu rijeke Krivaje, te uslovima i genezi hladnih i termalnih izvora podzemnih voda u dolini Krivaje, za potrebe ovog rada priređen je geološki i hidrogeološki profil (sl.10.)

Na geološkom profilu se mogu interpretirati i strukturno-tektonski odnosi koje karakterizira slijedeće:

- Duboka baza svim mezozojskim, uglavnom alohtonim naslagama, su paleozojske tvorevine (Pz).
- Ofiolitsko-radiolaritski kompleks ($J_{2,3}$) je sjeveroistočno od Krivaje i Bioštica navučen preko trijaskih tvorevina (T_1-T_3).
- „Ofiolitna navlaka“, odnosno ofiolitsko-radiolaritski kompleks ($J_{2,3}$), na jugozapadu u zoni pojave termalnih voda između Očevije i Knežine, završava dubokim rasjedom Krivaje.
- Trijaskie naslage „durmitorske navlake“ ($T_1, T_2^1, T_2^2, T_{2,3}$) su otkinute od trijaskih naslaga iz podine ofiolitsko-radiolaritskog kompleksa sjeveroistočno od Krivaje i Bioštica i dovedene u sadašnji položaj u rejonu planine Zvijezda,
- Otkinute trijaskie naslage „durmitorske navlake“ su navučene na „Bosanski fliš“, odnosno navlaku „bosanskog fliša“.
- „Bosanski fliš“ je u pravcu jugozapada i „Zeničko-sarajevskog basena“ navučen na trijaskie tvorevine (T_1-T_3).



Slika 10. Geološki profil preko doline Krivaje

4. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

4.1. HIDROGEOLOŠKA KATEGORIZACIJA, REJONIZACIJA I FUNKCIJE STIJENA

U slivu rijeke Krivaje su izdvojene su dvije hidrogeološke kategorije stijena:

- propusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti,
- propusne stijene pukotinske poroznosti, i
- nepropusne stijene.

Propusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti su karbonatianizika (T₂¹), srednje-gornjeg (T_{2,3}) i gornjeg trijasa (T₃). Prema intenzitetu karstifikacije izdvojene su u klasu dobro karstificiranih naslaga u kojima se pojavljuju mnoštvo površinskih i podzemnih kraških oblika. Od površinskih kraških oblika su brojne vrtače i ponori, a od podzemnih kraška vrela i pećine. Karbonati srednjeg i gornjeg trijasa imaju hidrogeološke funkcije akvifera hladnih voda u gornjoj strukturnoj etaži (durmitorska navlake) i termalnih voda u donjoj strukturnoj etaži (T₁-T₃). Treba istaći da je na sadašnjem stepenu istraženosti teško razlučiti da li trijase tvorevine donje strukturne etaže pripadaju tzv. „Limskoj zoni“ ilizoni Bosanskog fliša.

Propusne stijene pukotinske poroznosti su tvorevine vulkanogeno-sedimentne formacije ladinika (T₂²). Prema intenzitetu ispućalosti posebno dobru propusnost imaju pločasti krečnjaci, te krečnjaci sa kvrgama i proslojcima rožnaca koji se nalaze u gornjem nivou ladinika. Imaju hidrogeološke funkcije vodonosnika pukotinske poroznosti. Sasvim je izvjesno da ove tektonski jako poremećene naslage u zoni „Durmitorske navlake“ zajedno sa karbonatima srednjeg i gornjeg trijasa čine jedinstven akvifer hladnih voda.

Nepropusne stijene su razvrstane na: praktično nepropusne stijene i pretežno nepropusne komplekse. U kategoriju praktično nepropusnih stijena uvrštena je vulkanogeno-sedimentna formacija jure (J_{2,3}). U ovoj vodonepropusnoj formaciji debljine preko 1.000 nema akvifera, a samo mjestimično se u okviru magmatskih članova ove formacije pojavljuju izvori manje izdašnosti. Sjeverozapadno i jugozapadno od pojave termalnih voda u dolini rijeke Krivaje (Žepče, Rogatica, Višegrad), te na sjeveroistoku u dolini rijeke Spreče (Živinice, Gračanica) ove naslage čine vodonepropusnu krovinu trijaskim karbonatnim naslagama i akviferima termalnih i termomineralnih voda na ovim lokalitetima.

U kategoriju pretežno nepropusnih kompleksa izdvojene su naslage donjeg trijasa (T₁) i jursko-krednog fliša (J,K). Propusnost ovih naslaga je slaba tako da u njima nisu formirani akviferi veće vodoobilnosti. Samo mjestimično i plitko ispod površine terena u njima se pojavljuju akvifera hladnih voda ograničenog rasprostranjenja. Naslage jursko-krednog fliša (Bosanski fliš) su po svojoj prilici krovinska barijera akviferu termalnih voda formiranom u okviru trijaskih karbonata, te podinska barijera akviferima hladnih voda formiranim u okviru „Durmitorske navlake“.

4.2. IZVORI PODZEMNIH VODA

4.2.1. Izvori termalnih voda

U slivu rijeke Krivaje utvrđeno je 8 (osam) izvora termalnih voda: „Toplik“ u Knežini, „Toplik“ u Podlipniku, „Zelen vir“ u Olovu, „Terma“ u Olovu, „Toplik“ u Solun, „Kovačići“ u istoimenom mjestu, „Orlja“ u Orlji i „Velika Terma“ u Očeviju (tabela 1). Svi izvori termalnih voda su pukotinskog tipa i uzlaznog mehanizma isticanja. Pojavljuju se u okviru karbonata srednjeg ili gornjeg trijasa i blizu kontakta sa nepropusnim stijenama, te obavezno u zoni rasjeda.

Vode termalnih izvora u dolini rijeke Krivaje imaju veoma slične fizičko-hemijske karakteristike; mineralizaciju 319-424 mg/l, temperaturu 19,4-33,0°C, HCO₃-Ca i podređeno HCO₃-Ca-Mg tipa.

U pogledu hemijskog sastava termalne vode u slivu rijeke Krivaje, pored dominirajuće zastupljenosti hidrokarbonatnih, kalcijjskih i magnezijjskih jona, koji ukazuju na tečenje kroz krečnjake i dolomite, karakterizira veoma nizak sadržaj sulfata i hlorida što ukazuje da termalne vode ne protiču kroz evaporite, a što je važno sa definiranjem geološke građe i strukturno-tektonskih odnosa u ovom prostoru.

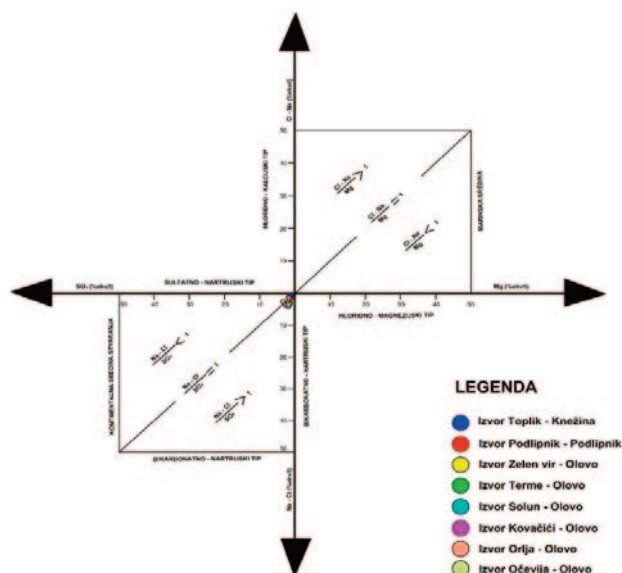
IZVORI	KATIONI				ANIONI			MINERALIZACIJA (mg/l)	T (°C).	Tip vode
	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl			
Toplik - Knežina	1,45	0,62	89,66	8,26	97,93	0,94	1,13	424	19,6	HCO ₃ – Ca
Toplik - Podlipnik	2,15	0,72	79,90	17,22	98,19	1,13	0,68	350	19,4	HCO ₃ – Ca
Zelen vir - Olovo	1,0	4,79	69,66	24,55	96,67	1,85	1,48	424	27,7	HCO ₃ – Ca – Mg
Terma -Olovo	4,33	0,98	68,70	25,98	97,38	1,31	1,31	419	33	HCO ₃ – Ca – Mg
Orlja - Orlja	1,87	0,80	90,64	6,68	97,50	1,75	0,75	319	25	HCO ₃ – Ca
Velika terma - Očevija	3,25	0,98	85,99	9,77	95,76	3,33	0,91	261	24	HCO ₃ – Ca
Toplik - Solun	5,63	0,87	75,70	17,79	96,51	1,85	1,64	383	26,5	HCO ₃ – Ca
Kovačići - Kovačići	5,71	7,56	71,22	15,31	95,04	2,69	2,27	381	25,3	HCO ₃ – Ca

Tabela 1. Fizičko-hemijske karakteristike termalnih voda u dolini rijeke Krivaje

Geneza termalnih voda

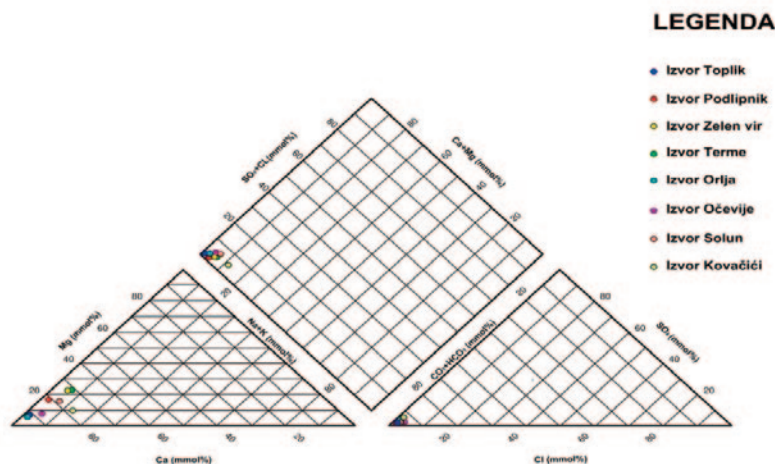
Proučavanje geneze termalnih voda u slivurijeke Krivaje izvršeno je korištenjem metode Sulina, Piperovog i Schoeller-ovog dijagrama, te na osnovu izotopskog sastava vode metodama tricija (³H), deuterija (²H) i kisika 18 (¹⁸O).

Korištenjem grafika Sulina na osnovu vrijednosti odnosa glavnih jona: Na/Cl, Na-Cl/SO₄ i Cl-Na/Mg određeni su genetski tipovi termalnih voda. Iz grafika se uočava da sve termalnih voda u ovom prostoru imaju Na-Cl/SO₄ > 1, tj. da su hidrokarbonatno - kalcijsko - magnezijskog tipa potiču iz kopnene sredine stvaranja (sl.11).



Slika 11. Dijagram termalnih voda u slivu rijeke Krivaje po Sulinu

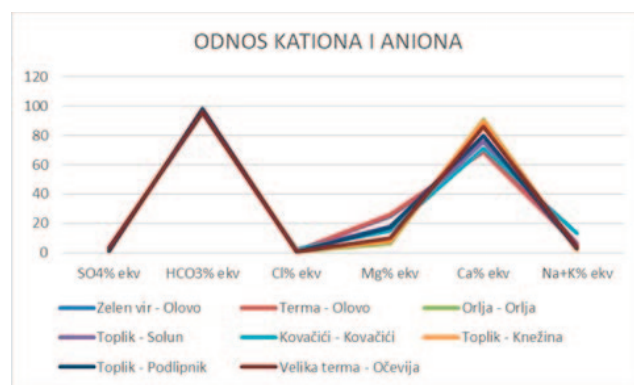
Piperov dijagram pokazuje da su sve termalne vode u slivu rijeke Krivaje istog hidrohemijskog tipa, odnosno hidrokarbonatno - kalcijsko - magnezijskog tipatipa (sl.12). Formiranje navedenog hidrohemijskog tipa termalnih voda u ovom prostoru je u direktnoj zavisnosti od hemijskog sastava stijena kroz koje se vrši njihovo tečenje, odnosno porijeklo iz krečnjaka i dolomita.



Slika 12. Piperov dijagram termalnih voda u slivu rijeke Krivaje

Relativno niska mineralizacija termalnih voda je najvjerojatnije rezultat brže vodozamjene i odsustva CO₂. Odsustvo CO₂ ukazuje da u dubljim dijelovima terena gornjeg toka Krivaje nisu izraženi termometamorfni procesi, te da nema manifestacija mlađeg tercijarnog magmatizma.

Schoeller-ov dijagram za termalne vode u slivu rijeke Krivaje (sl.13) pokazuje da sve termalne vode imaju veoma sličan jonski sastav, što, također, ukazuje na slične uslove postanka, akumuliranja, tečenja i isticanja.



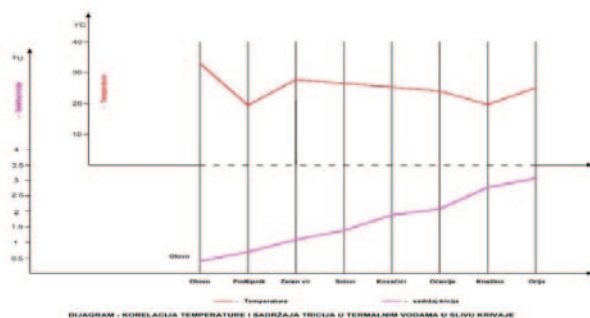
Slika 13. Schoellerov dijagram termalnih voda u slivu rijeke Krivaje

Izotopskim ispitivanjima uzoraka termalnih voda na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu (2019.) utvrđen je sadržaj tricija u rasponu od 0,4 do 3,1 TU. Navedeni sadržaj tricija prema Klark i Friz (1999.) pokazuju da su termalne vode u slivu rijeke Krivaje mješavina submodernih i skorije infiltriranih voda. Samo su termalne vode na izvoru u Podlipniku i bušotina Terma-Olovo submoderne vode starije od 1952.godine (prije prve nuklearne probe) što ukazuje na dugo zadržavanje vode u podzemlju (tabela 2.).

Izvor / Lokacija	Sadržaj tricija u vodi - TU
Toplik – Knežina	2,8 +/- 0,9
Podlipnik – Podlipnik	0,7 +/- 0,4
Zelen vir – Olovo	1,1 +/- 0,5
Terma – Olovo	0,4 +/- 0,3
Solun – Solun	1,4 +/- 0,5
Kovačići – Kovačići	1,9 +/- 0,7
Orlja – Križeviči	3,1 +/- 0,9
Očevija Očevija	2,1 +/- 0,3

Tabela 2. Izotopski sastav (tricij) termalnih voda u slivu rijeke Krivaje– (Institutu Ruđer Bošković,Zagreb, 2019.)

Iz dijagrama korelacije temperature i sadržaja tricija u termalnim vodama (sl.14) može se zaključiti da sa povećanjem temperature vode opada sadržaj tricija, odnosno što je temperatura vode niža, sadržaj tricija je veći, što posredno ukazuje na miješanje hladnih i termalnih voda u slivu rijeke Krivaje.



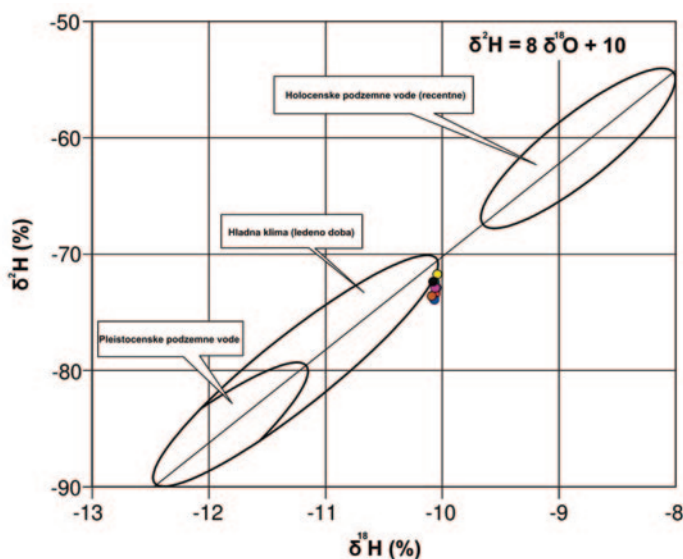
Slika 14. Korelacija temperature i sadržaja tricija u termalnim vodama u slivu rijeke Krivaje

Sadržaj izotopa vodika deuterija (^2H) u termalnim vodama u slivu rijeke Krivaje je u rasponu od $-71,73\%$ $\delta^2\text{H}$ do $-73,90\%$ $\delta^2\text{H}$ a izotopa kisika (^{18}O) od $-10,42\%$ $\delta^{18}\text{O}$ do $-10,89\%$ (tabela 3). Navedene vrijednosti sadržaja izotopa vodika i kisika ukazuju na atmosfersko porijeklo vode jer sadržaji ^{18}O i ^2H termalnih voda i oborina leže na tzv. srednjoj pravoj, reprodukovanoj jednačinom $\delta\text{H} = (8 \times \delta^{18}\text{O}) + 10$ (sl.13).

Izvor / Lokacija	Temperatura vode - T °C	Kisik - (^{18}O)	Deuterij - (^2H)
Toplik – Knežina	19,6	-10,60	-73,38
Podlipnik – Podlipnik	19,4	-10,49	-72,89
Zelen vir – Olovo	27,7	-10,68	-73,90
Terma – Olovo	33	-10,64	-72,41
Solun – Solun	26,5	-10,42	-71,73
Kovačići – Kovačići	25,3	-10,59	-72,90
Orlija – Križeviči	25	-10,89	-73,62
Očevija – Očevija	24	-10,77	-72,38

Tabela 3. Izotopski sastav (deuterij i kisik) termalnih voda u slivu rijeke Krivaje – (Hrvatski geološki institut, Zagreb 2019. godine)

Iz dijagrama na slici 13. se uočava da su termalne vode u slivu rijeke Krivaje stvarane u krajem pleistocenu, u vrijeme uticaja hladne klime (sl.15).



Slika 15. Korelacija izotopskog sadržaja kisika i deuterijuma termalnih voda u slivu rijeke Krivaje

4.2.2. Izvori hladnih voda

U slivu rijeke Krivaje utvrđeno je i analizirano 8 (osam) većih i važnijih izvora hladnih voda kao što su Knežak u Knežini, Vrutak u Podlipniku, Zelen vir u Olovu, Jasen u Olovu, Orlja u Orliji, Vrela u Očeviji, Studenac u Solunu i Krstac u Kovačćima (tabela 4). Navedeni hladni izvori uglavnom se pojavljuju skoro u neposrednoj blizini izvora termalne vode. Izvori hladnih voda su pukotinskog tipa, pretežno silaznoga mjestimično uzlaznog mehanizma isticanja. Pojavljuju se u okviru karbonata srednjeg ili gornjeg trijasa i blizu kontakta sa nepropusnim stijenama, te obavezno u zoni rasjeda.

IZVORI	KATIONI				ANIONI			MINERALIZACIJA (mg/l)	T (°C)	Tip vode
	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl			
Knežak - Knežina	1,4	3,0	87	2,1	273	6,6	1,9	383	10,7	HCO ₃ - Ca
Vrutak - Podlipnik	0,2	0,10	79,35	95,59	260	2,0	2,13	380	8,4	HCO ₃ - Ca - Mg
Zelen vir - Olovo	5,5	1,9	70	15	319,6	5,0	2,8	424	10	HCO ₃ - Ca- Mg
Jasen - Olovo	27	2,3	80	8,0	242,7	25	31	439	10,6	HCO ₃ - Ca - Na
Orlja - Orlja	38	1,0	50	3,2	171	6,9	6,3	245	5,1	HCO ₃ - Ca
Vrela - Očevija	6,03	0,83	79	1,4	241,6	6,5	0,51	341	11	HCO ₃ - Ca
Studenac - Solun	0,69	0,31	9,8	47	319,6	3,9	0,73	383	10,6	HCO ₃ - Mg
Krstac - Kovačćići	6,1	0,53	42	16	225,7	13	1,2	306	11	HCO ₃ - Ca- Mg

Tabela 4. Fizičko-hemijske karakteristike izvora hladnih voda slivu rijeke Krivaje

Izvori hladne vode imaju slične fizičko-hemijske karakteristike. Hladne vode su niske mineralizacija 245-440 mg/l, temperature 5-11 °C, HCO₃-Ca i HCO₃-Ca-Mg tipa, zavisno od toga da li su u akviferu zastupljene dolomitske naslage.

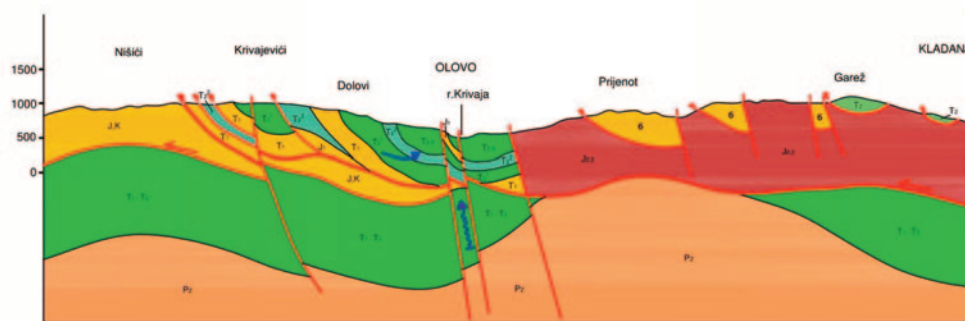
Geneza hladnih voda

Hladne vode u slivu rijeke Krivaje su atmosferskog porijekla, nastale infiltracijom padavina. Akvifer su karbonati srednjeg i gornjeg trijasa formirani u okviru „Durmitorske navlake“ u čijoj podini su vodonepropusne stijene donjeg trijasa, jursko-krednog fliša ili rjeđe ofiolitsko-radiolaritskog kompleksa. Izdašnost izvora zavisi od količine padavina i oscilira tokom hidrološke godine.

5. PODZEMNE VODE I STRUKTURNO-TEKTONSKI ODNOSI

Na osnovu razmatranja geneze podzemnih voda u slivu rijeke Krivaje može se zaključiti slijedeće:

- Podzemne vode (hladne i termalne) pojavljuju se u zoni dubokog rasjeda Krivaje i rasjedima subparalelnim ovom rasjedu.
- Hladne i termalne vode imaju isto, atmosfersko, porijeklo ali sasvim različitu genezu.
- Hladne vode su recentne vode koje nastaju prihranjivanjem od strane padavina i pod uticajem dnevnih klimatskih promjena.
- Termalne vode su nastale krajem pleistocena, odnosno krajem ledenog doba.
- Akvifer hladnih voda su trijaski karbonati „durmitorske navlake“ u čijoj podini su naslage jursko-krednog fliša („Bosanski fliš“).
- Primarni akvifer termalnih voda su trijaski karbonati (T₁-T₃) koji zaliježu ispod naslagajursko-krednog fliša.
- Termalne vode se uglavnom miješaju sa hladnim vodama što znači da je u primarnom akviferu moguće zahvatiti termalne vode veće temperature od one na izvorima.
- Miješanje termalnih i hladnih voda vrši se na većim dubinama u okviru trijaskih karbonata „durmitorske navlake“.
- Termalni izvori Banja i Podlipnik nisu imali vezu sa padavinama nakon 1952. godine što ukazuje na sporu vodozamjenu; ali ne isključuje miješanje i zahvatanje termalne vode više temperature.



Slika 16. Hidrogeološki profil preko rijeke Krivaje

Geneza termalnih i hladnih voda ukazuje na slijedeće strukturno-tektonske odnose u slivu rijeke Krivaje:

Ključnu ulogu imaju za postanak i porijeklo podzemnih voda u slivurijeke Krivaje (hladnih i termalnih) imaju:

- durmitska navlaka,
- navlaka bosanskog fliša i
- rasjed Krivaje.

Imajući u vidu razmatranja strukturno-tektonskih odnosa, te hidrogeoloških istraživanja i hidrohemijskih ispitivanja može se zaključiti da podzemne vode (hladne i termalne) u slivu rijeke Krivaje kao geomanifestacija upućuju na formiranje dvije strukturne etaže u ovom prostoru:

- donje strukturne etaže koju sačinjavaju karbonati trijasa (T_1 - T_3) preko kojih su navučene naslage jursko-krednog fliša (navlaka „Bosanskog fliša“), i
- gornje strukturne etaže trijasko naslage (T_1 - T_3) „Durmitske navlake“ koja je navučena na naslage jursko-krednog fliša, odnosno navlaku „Bosanskog fliša“,

Prisustvo navedenih strukturnih etaža koje presjeca rasjed Krivaje je osnovnim uzrokom pojave kraških izvora hladne vode u neposrednoj blizini izvora termalne vode, na skoro svim lokalitetima u slivu rijeke Krivaje.

6. ZAKLJUČAK

Istraživanja provedena za potrebe pripreme ovog rada pokazuju da su podzemne (hladne i termalne) vode prvorazredna geomanifestacija za analizu strukturno-tektonskih odnosa u slivu rijeke Krivaje.

Skoro linijski raspored izvora hladne i termalne vode koji se pojavljuju skoro u neposrednoj blizini ukazuju na zakonomjernost njihovog pojavljivanja i jedinstvene strukturno-tektonske odnose u slivu rijeke Krivaje između Očevije i Knežine.

Hladne i termalne vode u slivu rijeke Krivaje imaju isto, atmosfersko, porijeklo ali različitu genezu. Hladne vode su recentne vode koje nastaju prihranjivanjem od strane padavina i pod uticajem dnevnih klimatskih promjena. Termalne vode su nastale krajem pleistocena, odnosno krajem ledenog doba.

Akvifer hladnih voda su trijaski karbonati „durmitske navlake“ u čijoj podini su naslage jursko-krednog fliša. Primarni akvifer termalnih voda su trijaski karbonati koji zaliježu ispod naslaga jursko-krednog fliša.

Termalne vode se uglavnom miješaju sa hladnim vodama na većim dubinama u okviru trijaskih karbonata „durmitske navlake“.

Izvori hladnih i termalnih voda u slivu rijeke Krivaje ukazuju da su u ovim terenima formirane dvije strukturne etaže: donja strukturna etaža koju sačinjavaju karbonati trijasa preko kojih su navučene naslage jursko-krednog fliša, i gornja strukturna etaža u čijem sastavu su trijasko naslage koja je navučena na naslage jursko-krednog fliša. Glavnu ulogu za postanak i porijeklo podzemnih voda u slivu rijeke Krivaje imaju „Durmitska navlaka“, „Navlaka Bosanskog fliša“ i rasjed Krivaje.

Hidrogeološka i hidrohemijska istraživanja podzemnih voda uz analizu ostalih geomanifestacije prisutnih u slivu rijeke Krivaje, te izvođenje dopunskih istraživanja primjenom geofizičkih metoda istraživanja, mogu povećati stepen istraženosti prostora, a što može biti od izuzetne važnosti za istraživanja mineralnih sirovina (metala), CO₂ gasa i geotermalne energije u slivu rijeke Krivaje.

Korištenje podzemnih voda kao geomanifestacije geoloških procesa u slivu rijeke Krivaje može se interpolirati i na susjednim terenima na prelazu unutrašnjih i središnjih Dinarida koji su još nedovoljno istraženi, a posebno evolucija i položaj ofiolitsko-radiolaritskog kompleksa kao najmarkantnije formacije u ovom dijelu Dinarida Bosne i Hercegovine.

LITERATURA

1. Anđelković, M.: Tektonika Jugoslavije, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 1982.
2. Čičić, S.: Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine, Earth Science Sarajevo, 2002.p. 1-350.
3. Hrvatović, H.: Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu, Federalni zavod za geologiju BiH, Sarajevo, 2006.
4. Josipović, J.: Mineralne, termalne i termomineralne vode na teritoriji Bosne i Hercegovine, Geološki glasnik knj.15., 1971.p. 233-275. Sarajevo.
5. Marianne van Unen et.all. (2019.): Kinematics of Foreland-Vergent Crustal Accretion: Inferences From the Dinarides Evolution, Tectonics - Advancing Earth and Space Science
6. Miladinović, M.: Tektonika šireg područja planine Zvijezde sjeverno od Sarajeva, sa osvrtom na stratigrafsku pripadnost naslaga dijabaz-rožnačke formacije, Geološki glasnik br. 16.,1972. p. 93-102, Geoinženjering, Sarajevo.
7. Miošić, N.: Genetska kategorizacija mineralnih, termalnih i termomineralnih voda BiH, Geološki glasnik 27,Geoinženjering, Sarajevo,1982. p. 221-258.
8. Musić,A. et.all: Elaborat o kategorizaciji, klasifikaciji i proračunu rezervi podzemnih termalnih voda izvorišta „Aquaterm“ Olovo. Geotehnos d.o.o. Sarajevo, 2014.
9. Olujić, J. et all: Osnovna geološka karta SFRJ i tumač, list Vareš 1 : 100 000, Savezni geološki zavod – Beograd, 1958.-1970.
10. Skopljak, F.: Odnosi podzemnih voda područja Ilidže kod Sarajeva, Doktorska disertacija, Posebno izdanje Geološkog glasnika, Sarajevo, 2006.
11. Skopljak, F., Alić, F., Žigić, I. : Termalne vode u slivu rijeke Krivaje, III Savjetovanje geologa Bosne i Hercegovine sa međunarodnim učešćem, Neum, 2008.
12. Skopljak, F., Musić, A.: Proračun izdašnosti bunara termalne vode u ležištu „Aquaterm“ Olovo. III Savjetovanje geologa BiH, Pale, 2013.
13. Skopljak, F. Šarić, Ć. &Pobrić, V.: Prilog poznavanju geneze termalnih voda sjeveroistočnog oboda Zeničko-sarajevskog basena, Sarajevo,2017.
14. Schmid, S.M.: The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. Swiss J.Geosci., 2008.139-183. Basel.
15. Strajin, V. et all : Osnovna geološka karta SFRJ i tumač, list Vlasenica 1 : 100000, Savezni geološki zavod - Beograd, 1965.-1972.
16. Šarić, Ć.: Hidrogeološke karakteristike termalnih voda sjeveroistočnog oboda Zeničko-sarajevskog basena, Magistarski rad, RGGF Tuzla, 2015.
17. Šarić, Ć., Skopljak, F., Žigić, I. & Pašić-Škripić, D.: Hidrohemijske odlike termalnih voda u slivu rijeke Krivaje, II Kongres geologa Bosne i Hercegovine sa međunarodnim učešćem, Laktaši, 2019.

PREGLED KORIŠTENJA BETONA VISOKIH PERFORMANSI U BETONSKIM KONSTRUKCIJAMA

Kemal Zahirović¹, Danijel Ružić²

SAŽETAK

U ovom radu dat je pregled stanja korištenja betona visokih performansi u betonskim konstrukcijama. Ovaj beton u intenzivnijoj je primjeni u posljednjih 30-ak godina, tako da postoji značajna baza iskustava u smislu njegove izrade i primjene. Također, dosadašnja istraživanja omogućila su i inoviranje receptura betona visokih performansi. S obzirom da su betoni visokih performansi sve češće u upotrebi, u ovom radu sažeto su prikazana dosadašnja saznanja u ovoj oblasti. Pored korištenja betona visokih performansi, interesantan je i pregled istraživanja u dijelu izrade receptura i ispitivanja svojstava ovakvih betona. S toga je pregled, prezentiran u ovom radu, obuhvatio izradu, ispitivanje i primjere korištenja betona visokih performansi.

Ključne riječi: beton, cement, materijal, čvrstoća na pritisak, duktilnost, trajnost

1. UVOD

Beton je najprimjenljiviji građevinski materijal, koji ima svoje prednosti i nedostatke. Osnovne prednosti betona su cijena, primjenljivost za skoro sve građevinske konstruktivne elemente zbog mogućnosti oblikovanja bilo koje forme (oblika) i protivpožarna otpornost. U osnovne nedostatke betona se ubrajaju težina, trajnost i stepen iskorištenosti poprečnog presjeka. Trend istraživanja u građevinarstvu je postizanje racionalnih konstrukcija sa visokim performansama u smislu njihove nosivosti i upotrebljivosti, kojima će se umanjiti prethodno navedeni nedostaci konvencionalnog betona. Jednostavno rečeno "što više performansi za što manje novaca". U tom smislu, istraživanja idu u dva pravca:

- Racionalizacija konstrukcije kroz smanjenje dimenzija konstruktivnih elemenata
- Racionalizacija konstrukcije kroz poboljšanje svojstava ugrađenih materijala u konstruktivne elemente

Beton visokih performansi je proizvod istraživanja u smislu racionalizacije konstrukcije kroz poboljšanje svojstava ugrađenih materijala. Njegova intenzivna primjena započinje u posljednjih 30-ak godina i može se konstatovati da je formirana dovoljna baza podataka koja omogućava efikasnost njegove primjene i daljnji razvoj u smislu postizanja što boljih performansi konstrukcije.

U ovom radu daje se pregled istraživanja u oblasti razvoja i primjene betona visokih performansi. Pregled je obuhvatio istraživanja u oblasti izrade receptura, postizanja što boljih svojstava betona i optimalne primjene u betonskim konstrukcijama.

Na kraju rada daje se kratki kritički osvrt na dosadašnja istraživanja u oblasti primjene betona visokih performansi i preporuke za modalitete korištenja ovog betona.

¹ Kemal Zahirović MA dipl.ing. građ. Širbegović inženjering, Branilaca grada bb, Gračanica; Bosna i Hercegovina, kemo_z_92@hotmail.com

² Mr. Sc.Danijel Ružić, dipl.ing.građ. Tehnograd, ul Turalibegova br. 48, Tuzla; Bosnai Hercegovina, danijelr@hotmail.com

2. SASTAV I MATERIJALI

Do posljednjih 30-ak godina u upotrebi je bio konvencionalni beton čije su pritiskne čvrstoće uglavnom bile do 50 ili 60 MPa. Razvojem receptura betona u smislu primjene dodatnih komponenti i novih tehnologija (plastifikatora, ubrzivača vezivanja, tehnologija zaparivanja, upotreba silikatne prašine i letećeg pepela, metakaolina, aramidnih vlakana itd.) započela je primjena betona visokih performansi (oznaka HPC) čije su čvrstoće veće od gore pomenutih.

Proizvodnja ovakvih betona omogućila je izradu konstruktivnih elemenata manjih dimenzija, beton je bolje gustoće, a trajnost mu je povećana, čime su prevaziđeni osnovni nedostaci betona kao materijala koji ima veliku primjenu u građevinskoj industriji.

Osim pomenutog, u posljednje dvije decenije počinju se upotrebljavati i betoni ultravisokih svojstava (oznaka UHPC) čije klase čvrstoće uveliko prelaze čvrstoće konvencionalnog betona. Naravno, svako povećanje čvrstoće ide na štetu duktilnosti materijala, pa tako ovi i nekonvencionalni materijali imaju veću krutost.

U proteklom vremenskom periodu provedena su mnoga istraživanja koja su analizirala mogućnosti primjene drugih i inovativnih materijala za proizvodnju betona. Tako je u radu [1] istraživana primjena bakrene šljake umjesto pijeska pri spravljanju betona visokih čvrstoća. Bakrena šljaka je materijal koji se smatra otpadom i pretpostavlja se da isti može imati obećavajuću budućnost u gradnji, kao djelimična ili potpuna zamjena cementa ili agregata.

Za proizvodnju svake tone bakra otprilike 2,2-3,0 tona bakrene šljake nastane kao nusproizvodni materijal, čime je ispunjen osnovni preduslov za ekonomsku opravdanost ovog istraživanja. Eksperimentalno je dokazano da se dodavanjem do 50% bakrene šljake umjesto pijeska dobija čvrstoća koja je ekvivalentna čvrstoći kontrolne smjese. Međutim, dalji dodaci bakrene šljake uzrokuju smanjenje čvrstoće na pritisak zbog povećanja udjela slobodne vode u mješavini. Mješavine koje imaju 80% i 100% bakrene šljake pokazale su najmanju čvrstoću na pritisak (oko 80 MPa), što je oko 16% niže u odnosu na čvrstoću kontrolne mješavine.

Kada je riječ o apsorpciji površinske vode, ona je smanjena za mješavine u kojima je 40% bakrene šljake, a povećanjem tog udjela apsorpcija vode brzo raste. Zbog toga je preporučeno korištenje maksimalno 40% bakrene šljake kao zamjene pijeska, kako bi beton zadržao odgovarajuća svojstva.

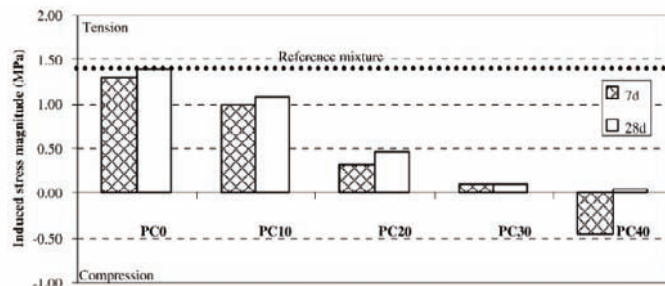
Primjena silikatnih prašina i letećeg pepela u mješavini cementa koji se koristi za spravljanje betona visoke čvrstoće analizirana je u radu [2]. Eksperiment je proveden za tri grupe mješavine betona, i to:

- a) Tip 1: Cement, sitni agregat, krupni agregat i voda
- b) Tip 2: Cement, leteći pepeo, silikatna prašina, sitni agregat, krupni agregat i voda
- c) Tip 3: Cement, leteći pepeo, silikatna prašina, sitni agregat i voda

Dodavanjem letećeg pepela i mikrosilikata, tj. smanjenjem sadržaja cementa, zaključeno je da se čvrstoća na savijanje betonske grede koja je ispitivana povećala za 13,3%. Dodatkom pomenutih komponenti na račun smanjenja količine cementa, čvrstoća na pritisak betonske kocke se povećava za 2,17% nakon 7 dana, te 28,35% nakon 28 dana. Osim pomenuog, rezultati istraživanja su pokazali da mješavina tip 3 ima najmanju čvrstoću na pritisak. Obzirom da je ovaj mješavina spravljen bez krupnog agregata to je sasvim logično i autori ovog istraživanja ne preporučuju upotrebu ovakve mješavine betona.

Isto tako, u radu [3] ispitana je upotreba recikliranog poroznog keramičkog agregata za spravljanje betona visoke čvrstoće. Unutarnje očvršćavanje se uveliko koristi kako bi se smanjilo skupljanje i samim tim ublažio visok rizik ranog pucanja betona visoke čvrstoće. Učinkovitost sistema unutarnjeg očvršćavanja kojeg pruža reciklirani porozni keramički agregat (PCCA) je zapravo primarna tema ovog rada. Ispituje se šest različitih mješavina betona visoke čvrstoće, tj. mjeri se fizički i mehanički razvoj svojstava sa dodacima PCCA i bez njih.

Rezultati su pokazali da otpadni reciklirani porozni keramički agregat ima izuzetno veliki "potencijal" za korištenje kada se želi postići sistem unutarnjeg očvršćavanja. Dodatna pogodnost primjene ovakvog agregata je poboljšana reakcija hidratacije cementa, što rezultira značajnim povećanjem čvrstoće betona na pritisak.



Slika 1. Doprinos PCCA smanjenju kapilarnih napona zatezanja[3]

Dodavanjem PCCA postignuta je čvrstoća na pritisak (28 dana) veća za oko 10% do 20% u odnosu na mješavine koje nemaju sastojke recikliranog poroznog agregata. Također, upotreba ovih agregata smanjuje kapilarni napon zatezanja koji se javlja u strukturi betona. (prikazano na slici iznad) Utvrđeno je da kada se sadržaj PCCA promijeni sa 10% na 40% dobivena veličina skupljanja se smanjuje sa 30% na 105%.

Za razliku od prethodnog, u radu [4] analizirana je primjena pepela rižine ljuske (RHA) koja uglavnom sadrži visok procenat ugljika u svom sastavu, na beton visokih performansi. Akcenat ovog rada stavljen je na istraživanje različitog vremena mljevenja RHA u vibracijskom mlinu, u svrhu poboljšanja svojstva, koja se odražavaju na primjenu u betonu visoke čvrstoće. Eksperiment koji je izveden, sastojao se od toga da su proizvedene četiri mješavine betona visokih performansi, koje su imale 0%, 10%, 20% i 30% mase cementa zamijenjene sa ultrafinim pepelom rižine ljuske.

Došlo se do zaključka da usvojeni postupci mljevenja RHA mogu doprinijeti povećanju homogenosti betonske mješavine. Bitno je naglasiti da je primjenom ultrafinih RHA umjesto cementa konzistencija betona smanjena, ali se povećanjem količine superplastifikatora može riješiti i taj problem. Upotreba ultrafinih čestica pepela rižine ljuske je održala ili povećala mehaničke karakteristike referentnog betona, a posebno dobre performanse je pokazala smjesa koja sadrži 20% RHA.

Analogno prethodnom, rađeno je ispitivanje postupaka proizvodnje pepela rižine ljuske, koji se koristi u primjesama betona visoke čvrstoće. U radu [5] su tako su ispitana dva postupka, i to:

- a) Konvencionalni tip RHA (TRHA) – dobiven termičkom obradom rižine ljuske
- b) Hemijsko-termički postupak (ChRHA)

Eksperimentalna analiza pokazala je povećanje pritisne čvrstoće betona dobivenog ChRHA postupkom. Glavni uzrok tome je pojava visokog sadržaja amorfnog SiO_2 u ChRHA. Čvrstoća ChRHA betona na pritisak odgovara čvrstoći SF betona koji je izrađen sa istom razinom zamjene, a ove čvrstoće su se pokazale kao veće u odnosu na ostale smjese koje su ispitivane (kontrolna i TRHA smjesa), što je vidljivo i na slici ispod. Ugradnjom ChRHA u beton se poboljšavaju svojstva trajnosti, pročišćavanjem strukture pora.

Slična tematika je obrađena i od radom [6], tako što je izvršena analiza mogućnosti primjene pepela rižine ljuske za proizvodnju betona ultra visokih performansi (UHPC). Ograničeni resursi i visoki troškovi silicijevog dioksida (SF) koji se koristi za proizvodnju betona ultra visokih performansi, potiču motivaciju za pronalaskom drugog materijala sa sličnim funkcijama. Zbog toga što ima veliku količinu amorfnog SiO_2 , te veliku površinu, pepeo rižine ljuske (RHA) kvalificiran je kao visokoaktivni poculan i istražena je mogućnost njegove primjene u proizvodnji betona ultra visoke čvrstoće.

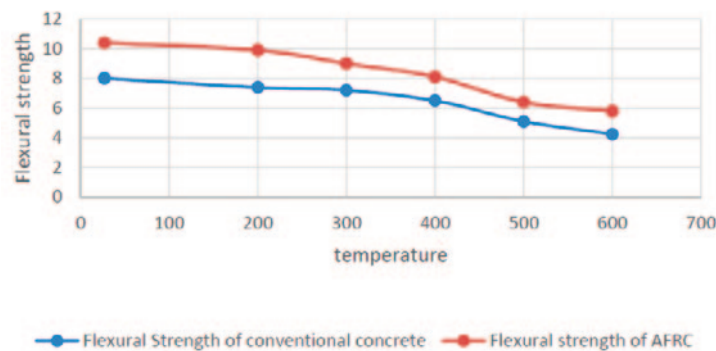
Eksperimentalna analiza pokazala je mogućnost primjene pepela rižine ljuske u proizvodnji betona ultra visokih performansi. Rezultati su pokazali da čvrstoća na pritisak UHPC, koji je spravljen korištenjem pepela rižine ljuske (srednje veličine 3,6 i 9 μm), s normalnim režimom očvršćavanja može da dostigne preko 150 MPa. Zanimljivo je da je učinak RHA na razvoj čvrstoće na pritisak ovakvog betona čak veći od učinka silicijevog dioksida, koji se uobičajeno koristi za spravljanje betona ultra visoke čvrstoće. Osim toga, uzorak koji sadrži mješavinu cementa sa 10% RHA i 10% SF pokazao je bolju čvrstoću na pritisak u odnosu na kontrolni uzorak bez RHA ili SF. Ova mješavina pokazala se kao idealna kombinacija za postizanje maksimalnog sinergijskog učinka.

Uporedbom primjene pepela rižine ljuske za spravljanje betona sa primjenom silicijevog dioksida, došlo se do zaključka da finoća RHA ima povoljan uticaj na čvrstoću na pritisak, ako se radi o očvršćavanju u normalnim uslovima. Pronađena je optimalna prosječna veličina čestica RHA za proizvodnju betona ultra visokih performansi i ona iznosi 5,6 μm , a finije čestice RHA mogu značajno poboljšati čvrstoću na pritisak kod UHPC. Čvrstoća na pritisak UHPC upotrebom najfinijih RHA sa srednjom veličinom čestica od 3,6

um može da dosegne i do 180 MPa i 210 MPa u dobi od 28 dana i 91 dan.

Za razliku od prethodno prezentiranih radova, u radu [7] ispitana je primjena aramidnih vlakana u betonu visoke čvrstoće (AFRC), u svrhu povećanja požarne otpornosti konstrukcije. Pri dejstvu temperaturnih uticaja karakteristično je smanjenje mehaničkih svojstava betona, prije svega čvrstoće na pritisak i čvrstoće na savijanje. Pretpostavka je, da bi se upotrebom materijala koji ima veću otpornost na temperaturna djelovanja, to smanjenje ograničilo. Takav materijal predstavljaju i aramidna vlakna, za koga je dokazana primjena u betonima visoke čvrstoće.

Analizom koja je provedena pokazano je da se čvrstoće na pritisak, savijanje i zatezanje betona (100 MPa) povećavaju upotrebom aramidnih vlakana. Uočeno je da se najveći dio gubitaka mehaničkih svojstava betona javlja pri temperaturama od oko 300 oC, a vrijednost sile zatezanja u AFRC-u pri ovoj temperature, skoro je jednaka sili zatezanja koja se javlja u "običnoj" mješavini betona, pri sobnoj temperaturi. Zapaženo je i da se čvrstoća savijanja kontinuirano smanjuje do 400oC te da nakon toga dolazi do naglog smanjenja ove čvrstoće, što je vidljivo i na slici ispod. Mjerenja su pokazala da je čvrstoća na savijanje AFRC-a pri 400oC skoro jednaka čvrstoći na savijanje uobičajenog betona na sobnoj temperaturi.



Slika 2. Ovisnost čvrstoće na savijanje o temperaturi[7]

Kada je riječ o optimalnom sastavu betona visoke čvrstoće, rad [8] prezentuje ispitivanja betona vrlo visoke čvrstoća sa eruptivnim drobljenim agregatom. Betoni vrlo visoke čvrstoće u svom sastavu mogu imati eruptivni drobljeni agregat manjem prečnika zrna (najčešće do 8 mm), ili što je još češće slučaj, za njihovo spravljanje se uopšte ne koristi krupni agregat, pa je njihova struktura sličnija strukturi maltera. Takvi betoni sadrže čestice manje od 0,1 μm pa do približno 300-600 μm, kako bi se dobilo što ujednačenije pakovanje zrna i što homogenija masa.

Optimizacijom sastava betona vrlo visokih čvrstoća ustanovilo se da količina cementa iznad 930 kg/m³ i superplastifikatora iznad 40 kg/m³ ne utiču na dalje povećanje čvrstoće na pritisak, te da se toplinskim tretmanom – zaparivanjem postiže ne samo znatno veća čvrstoća na pritisak, nego i veća 28-dnevna čvrstoća na pritisak betona, koja je redovno veća za 10% u odnosu na uzorke koji nisu bili zaparivani. Količina čeličnih vlakana u betonima vrlo visokih čvrstoća ne utiče značajnije na povećanje čvrstoće na pritisak, ali znatno utiče na povećanje čvrstoće na zatezanje savijanjem (i do 30% veća u odnosu na čvrstoću mješavine sa najmanjim procentom vlakana) i povećanje duktilnost.

Analogno prethodom, u radu [9] obavljeno je istraživanje na temu korištenja recikliranog sitnog (FRCA) i krupnog agregata (CRCA) za spravljanje betona visokih performansi. Recikliranje betonskog otpada se smatra održivom opcijom, jer smanjuje potrošnju prirodnih resursa i minimizira odlaganje otpada. Iako nije provedeno mnogo istraživanja na ovu temu za HPC, smatra se da su svojstva mješavine prirodnog agregata sa CRCA i FRCA prihvatljiva i do čak 100% zamjene.

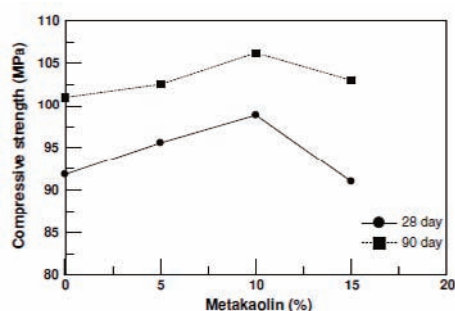
Eksperimentalno zapaženje pokazuje da se reciklirani materijali poput CRCA i FRCA, dobiveni od betonskog otpada, mogu upotrijebiti u 20%-tnoj razini zamjene prirodnog agregata kod spravljanja betona visoke čvrstoće. Rezultati su pokazali zadovoljavajući nivo čvrstoće i obradivosti ovakvih smjesa.

HPC mješavina sa 20% CRCA i FRCA pokazuje zadovoljavajuće performanse na izloženost sulfatima, a primjećuje se značajno smanjenje čvrstoće na pritisak, kada je smjesa izložena H₂SO₄.

Isto tako, istražen je uticaj mramornog praha na ponašanje betona visoke čvrstoće. Rad [10] prikazuje eksperimentalnu studiju uticaja mramornog praha koji se koristi kao djelimična zamjena Portland cementa na mehanička svojstva i trajnost betona visokih performansi. Za ispitivanje uticaja mramornog praha na radna svojstva betona korištene su dvije betonske mješavine, a pripremljeni uzorci prije ispitivanja su čuvani godinu dana u okolini koja je sadržavala 5% kalcijevog hlorida (medij 1) i pitku vodu (medij 2).

Analiza eksperimentalnih rezultata na betonu sa 15%-tnim udjelom mramornog praha sa modulom finoće od 11500 cm²/g, u hloridnom okruženju, pokazala je da mramorni prah pozitivno pridonosi mehaničkim karakteristikama mješavine. Na temelju toga, može se zaključiti da je mramorni prah pogodan za spravljanje betona visokih performansi.

Kada je riječ o sastavu betona, slično kao i u prethodno prezentiranim radovima, istražen je uticaj sadržaja metakaolina (MK) na svojstva betona visoke čvrstoće [11]. Metakaolin je mineralni dodatak sa pucolanskom aktivnošću koji se dobiva proizvodnjom iz kaolinske gline. Uobičajeno se koristi u količini od 10 do 25% u odnosu na masu cementa. Ekološka prihvatljivost ovog dodatka se ogleda u tome da pri proizvodnji metakaolina dolazi do znatno manje emisije CO₂ nego pri proizvodnji cementa. Ova studija je ispituje učinak metakaolina na mehanička svojstva i trajnost betona visoke čvrstoće za vodocementni faktor 0,3. Mješavine betona korištene u ispitivanju su sa dodatkom metakaolina od 5%, 10% i 15% umjesto cementa.



Slika 3. Čvrstoća na pritisak u ovisnosti od učešća metakaolina [11]

Rezultati su pokazali da se korištenjem MK i cementa, za pomenuti vodocementni faktor, može razviti beton visokih performansi sa čvrstoćom na pritisak većom od 100 MPa. Optimalni procenat MK u betonskoj smjesi iznosi 10 %, a za taj udio je postignuta čvrstoća na pritisak od 106 MPa, što je vidljivo na slici iznad. Osim toga, ovakav beton nakon 28 dana je pokazao veću čvrstoću na cijepanje (oko 5,15 %) te relativno visoku vrijednost modula elastičnosti. Kada je riječ o testovima trajnosti, betoni sa MK su pokazali bolje rezultate nego kontrolni uzorci, a ustanovljeno je da ovakav beton smanjuje propusnost vode, apsorpciju i propusnost hlorida sa povećanjem postotka zamjene.

U radu [12] primjenjuje se novi pristup površinske modifikacije drobljene gume pomoću organoglinjskih kompozita, za dokaz o opravdanosti primjene i poboljšanju svojstava betona visoke čvrstoće. Mehanička svojstva betona se pogoršavaju zbog neadekvatne veze između cementne paste i drobljene gume, pa zbog toga posljednjih godina naučnici ulažu velike napore kako bi se poboljšalo prijanjanje između ove dvije komponente.

Rezultati su pokazali da, kada se udio gume u betonu visoke čvrstoće povećava u rasponu od 0 do 25%, tada raste i obradljivost betona i to zbog vodoodbojnog svojstva gume. Međutim, obradljivost se smanjuje kod betona sa gumenim česticama tretirane površine. Beton s površinski tretiranom drobljenom gumom ima veću čvrstoću na pritisak od betona sa netretiranom drobljenom gumom, a osnovni razlog tome leži u boljoj vezi između cementne paste i drobljene gume.

U prethodno prezentiranim radovima prikazana su ispitivanja primjene raznih materijala i sastava za spravljanje smjese betona visoke čvrstoće, prije svega vodeći računa o tome da se ne ugroze njegova mehanička svojstva. Osim toga, upotrebom lokalnih materijala u betonima visoke čvrstoće ostvaruje se jedan od osnovnih ciljeva u pogledu racionalizacije troškova gradnje, iz čega proizilazi ekonomska opravdanost pomenutih istraživanja. Vrlo je bitno naglasiti i aspekt ekologije, pa se zbog toga posebno skreće pažnja na mogućnost primjene recikliranih materijala, koji su dobiveni od betonskog OTPADA.

3. SVOJSTVA BETONA VISOKE ČVRSTOĆE

Iz prethodno navedenih istraživanja, jasno je da je kod betona visokih čvrstoća svakako potrebna veća pažnja u izboru sastojaka, nego kod betona normalnih čvrstoća. Odabir svojstava koje želimo postići u svježem i očvrstnutom stanju te vrsti konstrukcije, direktno utiče na odabir prethodno nabrojanih parametara na kojim se zasniva struktura betona visokih performansi.

Betoni visokih svojstava, zbog dokazanih prednosti, u gradnji nosivih, trajnih i upotrebljivih armiranobetonskih konstrukcija imaju široku primjenu. Zbog smanjene poroznosti betoni visokih čvrstoća

imaju bitno poboljšana svojstva trajnosti u odnosu na betone normalne čvrstoće. U ovoj činjenici leži osnovni razlog njihove primjene u različitim agresivnim sredinama. Osim poboljšanja trajnosti, betone visokih performansi u odnosu na betone normalnih čvrstoća karakteriše i bolja otpornost na hemijske supstance, poboljšana prionjivost sa betonskim čelikom i čelikom za prednaprezanje, smanjeno skupljanje i puzanje itd.

Poznato je da se čvrstoća betona na pritisak smatra najznačajnijim mehaničkim svojstvom betona. Shodno tome, postoji velik broj naučno istraživačkih radova koji se bave ovom tematikom. Tako je u radu [13] vršena analiza ispitivanja čvrstoće betona na pritisak i uticajnih parametara na tu čvrstoću. Razlog ovog istraživanja leži u potrebi da se definiše stvarni uticaj silikatne prašine na čvrstoću betona na pritisak, što je predmet neslaganja mnogih istraživača. Osim toga, uveden je model predviđanja čvrstoće na pritisak betona visokih performansi, u ovisnosti o vremenu, u vidu empirijskih formula koje su definisane od strane nekoliko istraživača.

Uobičajen način za dobivanje betona visoke čvrstoće je upotreba pare silicijum dioksida u kombinaciji sa superplastifikatorom. Poboljšanje mehaničkih svojstava betona sa silikatnom prašinom objašnjava sve veću upotrebu ove smjese u betonu. Ipak, različiti autori ističu razne nedostatke koji se odnosi na primjenu ovih supstanci u betonskim mješavinama. Tako se u prvi red stavljaju gubitak plastičnosti tokom proizvodnje betona i velika osjetljivost na skupljanje tokom početnog očvršćavanja.

Zaključeno je da povećanje čvrstoće na pritisak betona mnogo više ovisi o smanjenju omjera voda cement (vodocementni faktor) nego o pomenutom efektu silikatne prašine. Čvrstoća na pritisak se povećava upotrebom prašine silicijum dioksida do 20%, a maksimum dostiže za razinu od 10% do 15%.

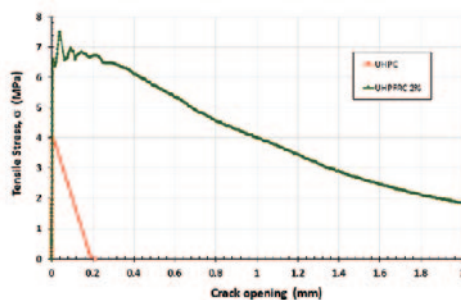
U radu [14] obavljena su istraživanja na temu čvrstoća na savijanje armiranobetonskih elemenata spravljenih od betona ultra visoke čvrstoće. Za određivanje pomenute čvrstoće, prema raznim propisima i preporukama (ACI, EC2, CEB/FIP), koriste se pojednostavljeni blok dijagrami naprezanja, prema kojim je glavni parametar uticaja na rezultate čvrstoća betona na pritisak. Glavni cilj ispitivanja bio je prijedlog modela ocjene čvrstoće na savijanje za beton ultra visoke čvrstoće. Provedena je i kontrola podudarnosti sa prethodnim ispitivanjima (ukupno 21 testni uzorak) čvrstoće na savijanje armiranog betona od čeličnih vlakana ili betona ultra visoke čvrstoće.

Raspodjela napona pritiska betona ultra visokih performansi najtačnije je ukoliko ima trougaoni oblik. Pod dejstvom napona zatezanja, ova raspodjela napona pritiska, može da se mijenja sadržajem i oblikom vlakana. Ipak, istraživači su na osnovu kontrole podudarnosti zaključili da postojeći modeli proračuna čvrstoće na savijanje ne mogu tačno i precizno odrediti čvrstoću na savijanje betona ultra visokih performansi.

Slično prethodnom, rad [15] predstavlja istraživanje čvrstoće na zatezanje betona visokih (UHPC) i ultra visokih čvrstoća (UHPRFC). Izravnim eksperimentalnim mjerenjima čvrstoće na zatezanje ovakvih betona (ako ne sadrže vlakna) utvrđeno je da se srednje vrijednosti kreću od 7-10 MPa (japanska preporuka srednje vrijednosti 5 MPa, francuske smjernice SETRA / AFGC sugeriraju srednju vrijednost od 8 i 8,1 MPa). Sa druge strane, vrijednosti čvrstoće na zatezanje ovih betona koji sadrže čelična vlakna se kreću u rasponu od 7-15 MPa.

Eksperimentalno su istraživane dvije serije uzoraka, i to: UHPC i UHPRFC 2% (vlakna 2% zapremine). Ispitivanje na zatezanje kod UHPC-a je završeno naglim krtim lomovima (bez pojave pukotina), dok je UHPRFC 2% pokazao duktilno ponašanje sa postepenim otvaranjem pukotina (zbog izvlačenja vlakana).

Na slici ispod prikazano je da UHPC i UHPRFC korišteni u istraživanju imaju srednju maksimalnu čvrstoću od 4.0263 MPa (za UHPC) i 6.5851 MPa (za UHPRFC) te dužine otvaranja pukotine od 0.0078 mm (za UHPC) i 0.0068 mm (za UHPRFC).



Slika 4. Dijagram otvaranja pukotina (UHPC i UHPRFC) [15]

Studija istraživanja koja se odnosi na preispitivanje dosadašnjih saznanja u pogledu unutarnjeg stvrdnjavanja betona visokih performansi (HPC) objavljena je u radu [16]. Obrađeni su uobičajeni materijali koji su korišteni za unutarnje stvrdnjavanje, koje je u konačnici potrebno za umanjeње rizika od nastanka pukotina u očvrslom betonu. Osim toga, ovo istraživanje je usredotočeno na ponašanje HPC-a, uključujući gustoću, čvrstoću (zatezanje, cijepanje, pritisak i savijanje), skupljanje itd.

Rezultati pokazuju da unutarnje očvršćavanje ima veći uticaj u kasnijoj dobi za zatezanje, cijepanje i savijanje, nego za čvrstoću na pritisak. U nekoliko studija, koje je rad analizirao, naglašeno je da unutarnje stvrdnjavanje direktno utiče na smanjenje skupljanja betona visoke čvrstoće, i zbog toga je potrebno održavati cementnu matricu volumetrijski stabilnom. Čvrstoća na pritisak može biti veća u smjesama sa laganim agregatom nego u smjesama bez njega. Stepēn hidratacije betonske mješavine ovisi o količini vode u hidratiziranoj cementnoj pasti. Mnoge studije izvještavaju o povećanoj čvrstoći na pritisak uzoraka HPC-a kojima su dodani lagani agregati i super-apsorbirajući polimeri, a vrijedi vjerovanje da je ovaj fenomen posljedica visokog stepēna hidratacije. Prema tome, odgovor na pitanje da li lagani agregat može uzrokovati povećanje čvrstoće na pritisak, direktno je u ovisnosti od toga može li povećani stepēn hidratacije zbog unutarnjeg očvršćavanja nadomjestiti nisku čvrstoću laganog agregata.

Pomenuto je da vatrootpornost predstavlja značajnu prednost betona kao građevinskog materijala u uporedbi sa drugim materijalima (prije svega čelik i drvo) koji se koriste u građevinskim konstrukcijama. Tako je u radu [17] istraženo predviđanje otpornosti na vatru stubova od armiranog betona visoke čvrstoće. Kao što je poznato, konstruktivni elementi koji se primjenjuju u građevinarstvu, uz uslove nosivosti i stabilnosti, moraju da zadovolje i zahtijevanu požarnu otpornost. Općenito, beton pokazuje dobre performanse u požarnim situacijama, ali su studije pokazale da su požarni učinci betona visoke čvrstoće nešto slabiji u odnosu na betone normalne čvrstoće, što se pripisuje niskom vodocementnom faktoru.

Računalni program koji je predstavljen u studiji se pokazao (u usporedbi sa eksperimentalnim istraživanjima) kao vrlo uspješan za predviđanje otpornosti stubova na požar. Pomoću modela se može procijeniti protivpožarna otpornost stubova za bilo koji od značajnijih parametara, kao što su: opterećenje, dimenzije presjeka, dužina stuba, čvrstoća betona, vrsta agregata i ojačanje vlaknima itd. bez potrebe za ispitivanjem.

Za razliku od prethodnog, rad [18] bavi seizučavanjem kapaciteta nosivosti na smicanje posmičnih zidova izrađenih od armiranog betona ultra visokih performansi. Da bi se utvrdio kapacitet nosivosti na smicanje, provedeno je ispitivanje cikličkim opterećenjem na uzorku koji ima omjer širine i visine 1,0.

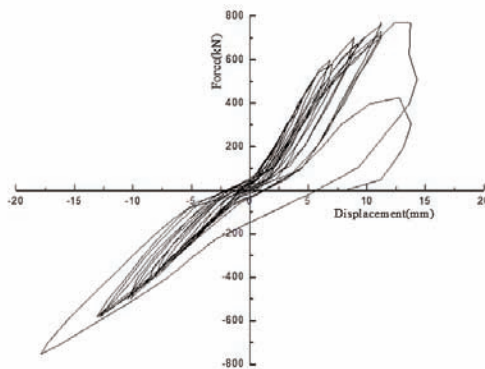


Fig. 8. Experimental hysteretic curves.

Slika 5. Histerezna petlja određena eksperimentalno [18]

Na osnovu rezultata eksperimenta, može se zaključiti da je broj pukotina na uzorku bio velik, ali da nije došlo do pojave karakteristične pukotine u obliku "X". Pojava pukotina je zabilježena pri dejstvu 65%-tnog vršnog opterećenja, ali je uzorak zida koji je ispitivan pokazao visoku učinkovitost protiv pucanja i zadovoljavajuću nosivost. Bitno je naglasiti i da je izvedena formula za proračunavanje opterećenja koje dovodi do pucanja posmičnog zida od UHPC koji je izveden sa nagnutom stijenkā. Osim toga, predložena je i formula za izračunavanje nosivosti posmičnog zida izvedenog u nagibu od UHPC. Obje formule, u usporedbi sa dobivenim eksperimentalnim rezultatima, daju veliku tačnost, i mogu se koristiti u praktičnim inženjerskim problemima.

Rad [19] predstavlja prikaz istraživanja o mehaničkim svojstvima betona visokih performansi, čija je mješavina napravljena sa korištenjem bazaltnih vlakana. Ova studija obuhvata ispitivanje karakteristika betona kao što su čvrstoća na pritisak, modul elastičnosti i čvrstoća na zatezanje, za smjese betona

spravljen korištenjem bazaltnih vlakana. Ova vlakna su relativno jeftina i njihova primjena se javila prije svega iz ekonomskih razloga.

Za svaku od tri mješavine koje su ispitivane utvrđeno je da je optimalna čvrstoća za slučaj 2%-tnog učešća bazaltnih vlakana u zapremini smjese, dok je za 3%-tno učešće vlakana smanjena čvrstoća na zatezanje, vjerovatno zbog prisutnosti praznina koje nastaju korištenjem vlakana veće zapremine. Betonske mješavine sa dodatkom bazaltnih vlakana pokazala su zadovoljavajuću duktilnost, a kada je riječ o rezultatima modula elastičnosti, dodavanje ovih vlakana ne utiče značajnije na njih.

Slično kao u prethodnom, u radu [20] ispitivana su mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona visoke čvrstoće koji sadrži čelična i polipropilenska vlakna. Rezultati eksperimentalne studije pokazali su da ugradnja čeličnih i polipropilenskih vlakana poboljšava mehanička svojstva betona visoke čvrstoće, za svaki od udjela u zapremini koji su pomenuti iznad. Razlog tome leži u sposobnosti vlakana da smanje širenje pukotina, koncentraciju napona na vrhu pukotina te odgađaju brzinu širenja pukotina. Uočeno je da dodavanje 1% čeličnih vlakana značajno poboljšava zateznu čvrstoću na cijepanje i čvrstoću na savijanje betona. Među različitim kombinacijama dodavanja čeličnih i polipropilenskih vlakana, najbolje performanse je pokazala mješavina koja sadrži 0,85% čeličnih i 0,15% propilenskih vlakana. Obzirom na visoke zahtjeve u pogledu čvrstoće i trajnosti, HPC se obično proizvodi sa vodocementnim faktorom u rasponu od 0,2 – 0,4. To su osnovni razlozi česte pojave skupljanja i pucanja betona visoke čvrstoće, pa se koriste dodaci koji smanjuju skupljanje (SRA). Uzimajući u obzir sve pomenuto izrađena je eksperimentalna studija [21] na temu uticaj sredstava za smanjenje skupljanja na mehanička svojstva betona visoke čvrstoće.

Na osnovu provedenih eksperimenata zaključeno je da SRA uzrokuju smanjenje prirasta čvrstoće, pa je obradivost ovakvog betona bolja. Prisustvo SRA uzrokuje niži stepen čvrstoće, u odnosu na mješavine koje u svom sastavu nemaju ovakve dodatke. Ovaj gubitak čvrstoće, može da se djelimično nadoknadi smanjenjem sadržaja vode, tako iskorištavajući efekat dodavanja SRA.

Uticaj pucolanskih dodataka na razvoj čvrstoće betona visokih performansi ispitivan je u radu [22], a osnovni cilj istraživanja bila je procjena učinka pucolanskih dodataka na temperaturu hidratacije, te na konačnu čvrstoću betona i u tu svrhu su provedene diferencijalne termičke analize.

Rezultati su pokazali da silikatna prašina (SF) ubrzava process hidratacije cementa za otprilike 1-2 sata. Kada se povećava količina SF u sastavu, početak hidratacije nastupa ranije, a sam proces hidratacije traje duže. Svi sastavi koji su ispitivani dostigli su maksimalnu temperature u vremenskom intervalu od 11 do 13 sati. Silikatna prašina dovodi do povećanja mehaničkih svojstava (čvrstoća na pritisak), ali uspješniji doprinos daju smjese u kojima nema više od 20% SF. Shodno tome, zaključuje se da pucolanski dodaci mogu značajno smanjiti količinu cementa i tako učiniti beton ekološki prihvatljivijim.

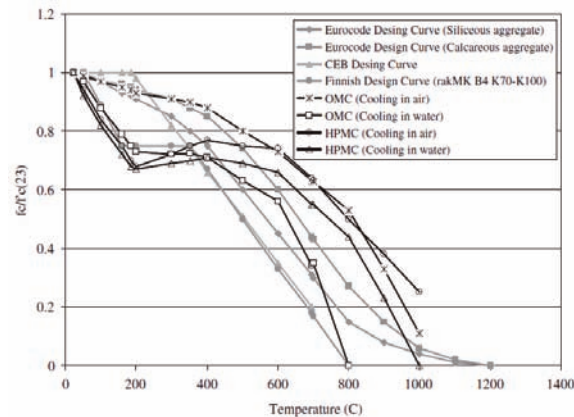
Mehanička svojstva betona visoke čvrstoće spravljenog dodavanjem otpadnog staklenog praha pri visokim temperaturama ispitivana su u radu [23]. Hemijski sastav otpadnog staklenog praha dobar je pokazatelj uloge ovog praha kao inertnog, vrlo finog materijala u poboljšanju čvrstoće na pritisak betonske mješavine.

Rezultati istraživanja pokazali su veliku ulogu otpadnog staklenog praha u očuvanju preostale čvrstoće pri dejstvu velikih temperatura. Mješavine spravljenе od silikatne prašine pokazale su veću degradaciju čvrstoće pri visokoj temperaturi u odnosu na mješavine proizvedene od staklenog praha, a shodno tome je i efekat cijepanja betona pri visokoj temperaturi manji za mješavine sa ovakvim materijalom. Na osnovu svega prethodno rečenog donešen je zaključak da je upotreba staklenog praha sa veličinom čestica u rasponu od 100 – 850 μm veoma učinkovita za beton visoke čvrstoće izložen velikim temperaturnim uticajima.

Slično prethodnom, rad [24] se zasniva na proučavanju učinka visoke temperature na čvrstoću na pritisak i savijanje kod normalnih betona i betona visokih performansi. Pomenute mehaničke karakteristike uzoraka betona koji se koristio upoređivane su jedna sa drugom, a zatim su upoređivani sa uzorcima koji nisu bili zagrijavani. Osim toga, krive gubitka čvrstoće pomenutih uzoraka upoređivane su sa krivim čvrstoće koje su date u normama.

Čvrstoća na savijanje i pritisak se povećanjem temperature smanjuje, a pad je veći kod onih uzoraka koji su hlađeni u vodi. Čvrstoća na pritisak HPC-a hlađenog i u zraku i vodi smanjena je za temperature do 200 oC, a povećana za temperature između 200 oC i 400 oC. Čvrstoća na pritisak betona normalnih performansi konstantno se smanjivala.

Ispitivanje čvrstoće na pritisak nije rađeno za beton normalne čvrstoće na temperature iznad 600 oC, a za beton visoke čvrstoće iznad 800 oC, zbog toga što se većina uzoraka raspalo. Studija je pokazala da su betoni proizvedeni primjenom krečnjaka imali gubitak čvrstoće u visokim postotcima ukoliko su hlađeni u vodi nakon izlaganja visokoj temperaturi.



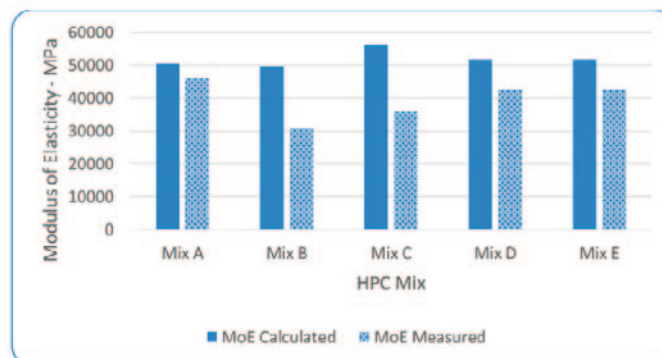
Slika 6. Uporedba krivih gubitka čvrstoće iz normi sa eksperimentalnim [24]

Radovi koji su prezentirani u prethodnom poglavlju predstavljaju značajnu bazu podataka o svojstvima betona visokih performansi, koja je vrlo korisna kako u daljem istraživačkom radu, tako i u inženjerskoj praksi. Važno je napomenuti da čvrstoća na pritisak, kao osnovna mehanička karakteristika betona, najviše ovisi o omjera voda cement (vodocementni faktor). Također zanimljiva činjenica je da su pojedini autori svojim istraživanjima dokazali da postojeći modeli proračuna čvrstoće na savijanje ne mogu tačno i precizno odrediti čvrstoću na savijanje betona ultra visokih performansi.

7. PRIMJENA I RAZVOJ

Bez obzira na sve do sada pomenute pogodnosti i vrhunske karakteristike u odnosu na obični beton, HPC još uvijek nema široku tržišnu upotrebu zbog visokih troškova sastavnih materijala. Odabir komponenti, te postupci proizvodnje, transporta, ugradnje i njege kod ovih betona su dosta složeniji nego kod betona normalne čvrstoće, što je direktno odraženo na ukupnu cijenu koštanja materijala. Uopšteno govoreći, betoni visoke čvrstoće se najčešće koriste za izradu prefabrikovanih tankostijenih elemenata, armiranih čeličnim vlaknima, koji se upotrebljavaju u jako agresivnim sredinama. Ipak, konkretni primjeri kako primjene tako i razvoja ovih betona prikazani su u nastavku teksta.

Tako se u radu [25] radi istraživanje na temu primjene i razvoja betona visokih performansi (HPC) za industriju gotivih i prednapregnutih betona. Glavni cilj ovog istraživanja je razviti mehanička svojstva HPC koristeći isključivo korisne tehnike miješanja. Za upotrebi u industriji prefabrikovanih i prednapregnutih betona, cilj je da se čvrstoća od 70 MPa dostigne za 24 sata, a konačna čvrstoća od 105 MPa treba se postići za najkasnije 28 dana.



Slika 7. Moduli elastičnosti: ispitivane i računске vrijednosti [25]

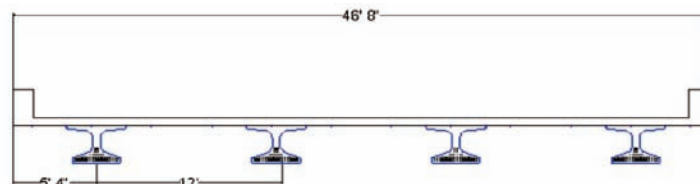
Za stvaranje razmatrane smjese HPC potrebne su visokoenergetske lopatice za miješanje, zbog visokog sadržaja veziva i malog vodocementnog faktora. Ovako dobijene smjese imale su zahtijevanu minimalnu čvrstoću na pritisak (nakon 24h i 28 dana), što se najviše pripisuje visokom sadržaju vezivnog sredstva te ugradnji silikatne prašine i letećeg pepela.

Kada je riječ o modulu elastičnosti, donešen je zaključak da izrazi za određivanje modula elastičnosti koji se koriste u trenutnim kodovima pretjeruju u predviđanju ove vrijednosti, u uporedbi sa rezultatima testova, što se vidi i na slici ispod.

Vrijednosti čvrstoće betona na zatezanje koje su izračunate numeričkim postupkom niže su od eksperimentalnih istraživanja. Prema tome, one se mogu konzervativno koristiti u slučaju da nisu provedena ispitivanja u laboratoriji. Za određivanje tačnijeg numeričkog izraza za čvrstoću na zatezanje betona, potrebna su dalja istraživanja.

Eksperimentalno istraživanje izgradnje mostova na autocestama SAD-a od betona visokih performansi prikazano je u radu [26]. Trenutno, federalna uprava za autoceste (FHWA) koristi tehnike ubrzane gradnje novih mostova te optimizacije troškova materijala, rada i opreme. Prednosti primjene ovakvih sistema od betona visokih performansi su maksimizirane kada su se počeli koristiti visoko učinkoviti radni materijali. Shodno tome, za ovo istraživanje su upotrebljavana i užad za prednaprezanje velikog prečnika osim betona visokih performansi.

Izrađeni nosač "I" poprečnog presjeka pokazali su vrhunske kapacitete savijanja i smicanja, koji su rezultirali manjim presjecima nosača, većim omjerom raspona i visine poprečnog presjeka i povećanim razmacima između nosača. Zaključeno je da će se primjenom ovakvih sistema u SAD-a znatno poboljšati stanje mreže mostova u ovoj državi, u smislu povećanja životnog vijeka građevina i smanjenja troškova održavanja i popravljivanja.



Slika 8. Alternativna konstrukcija mosta koristeći HPC i užad velikog prečnika (0,7 inch.) [26]

Za razliku od prethodnog, u radu [27] prikazano je eksperimentalno istraživanje konzola napravljenih od betona ultra visoke čvrstoće (UHPC) koji sadrži čelična vlakna. U ovom studiju testirano je ukupno 11 konzola betona ultra visoke čvrstoće, od kojih je jedna konzola bila bez armature, kako bi se utvrdile karakteristike konstrukcijskog ponašanja, krajnjeg opterećenja i formiranja pukotina, duktilnosti i otkaza UHPC-a.

Eksperimentalna istraživanja pokazala su da se su se prve pukotine javile na / u blizini mjestu spoja konzole i stuba, a opterećenje koje dovodi do prve pukotine se povećava smanjenjem odnosa između kraka sile i visine konzole (a/d). Dodavanjem "sekundarnog ojačanja" u vidu čeličnih vlakana smanjuje se širina pukotina, poboljšava se krutost konzole i povećava njena duktilnost. Uzimajući u obzir i preporuke ACI 318-14, zaključeno je da je potrebno provesti mnogo više istraživanja kako bi se uspostavio idealan omjer između glavne armature konzole i ojačanja u vidu čeličnih vlakana. Autori ovog rada su također konstatovali da su izrazi koje preporučuje ACI 318-14 vrlo konzervativni u pogledu smičuće otpornosti konzola od betona ultra visokih performansi sa dodatkom čeličnih vlakana.

Već nekoliko puta je spomenut značaj razvoja betona sa ekološke tačke gledišta. Shodno tome, u radu [28] nalazi se prikaz eksperimentalnog istraživanja betona ultra visokih performansi (UHPC) uzimajući u obzir ekološki aspekt. Obzirom da UHPC ima znatno veći udio cementa nego beton normalne čvrstoće (skoro dvostruko više), potrebno je istražiti mogućnosti zamjene cementa sa hidrauličkim aditivima koji imaju manje emisije CO₂, kako bi se smanjio štetni uticaj na okolinu. Fokus ovog istraživanja bilo je korištenje materijala poput granulirane šljake iz visokih peći ili letećeg pepela.

Istraživanje je pokazalo da se zamjena cementa prikladnim, ali manje energetski intenzivnim materijalima, može izvršiti na oko 45% mase, bez značajnijeg smanjenja mehaničkih karakteristika i obradljivosti betona. Zamjenom cementa sa pomenutim materijalima učinjen je tek prvi korak ka poboljšanju održivosti UHPC-a sa ekološkog stajališta. Ipak, ako se u obzir uzme smanjena potrošnja materijala, a povećana trajnost, cjelokupna slika se znatno poboljšava. Dalji koraci za optimizaciju količine cementa, u svrhu konkurentnosti UHPC-a sa ekološke tačke gledišta, poduzeti su primjenom vlakana u betonskim mješavinama.

Isto kao i u prethodnom, u radu [29] prezentirana je mogućnost korištenja dva otpadna materijala za proizvodnju betona visokih performansi, u svrhu poboljšanja primjene ovakvog betona sa ekološkog stajališta. Za pripremu ispitivanih mješavina korišteni su reciklirani betonski agregat (RCA) frakcije 4-16 mm i leteći pepeo klase F (iz termoelektrane na uglj) u kombinaciji sa različitim vrstama cementa.

Na temelju dobivenih rezultata, autori smatraju da je granicu od 5% apsorpcije vode praktično nemoguće ispuniti. Zamjena frakcije prirodnog agregata od 2-4 mm sa recikliranim agregatom uzrokovala je neznatno pogoršanje većine svojstava trajnosti betona, osim pomenute apsorpcije (skoro 20% porasta). Iz ovog se može izvući zaključak da je sigurnije koristiti frakcije RCA iznad 4 mm, što odgovara odredbama različitih standarda i preporukama u literaturi. Pretpostavka je da će se daljim istraživanjem i ovaj učinak nadoknaditi.

Radom [30] obuhvaćeni su principi istraživanja primjene betona visoke čvrstoće u građevinskim konstrukcijama. U članku je opisano ispitivanje i projektovanje sastava betona visokih performansi, optimalna primjena ovog materijala u području montažnih objekata i primjena kod visokih građevina. Osim toga, postavljeni su osnovni zahtjevi za beton visokih performansi te je opisana postojeća praksa primjene u modernoj građevinskoj praksi.

Primjena betonskih mješavina visokih performansi uspješno je odgovorila svim uslovima održavanja i različitim ciljevima koji su postavljeni od strane investitora: spravljanje mješavina koje daju betonske konstrukcije velike čvrstoće, povećane hemijske otpornosti i vatrootpornosti; izgradnja sportskih i zabavnih objekata koji su podvrgnuti značajnim zvučnim i vibracijskim uticajima; izgradnja industrijskih i tehnoloških objekata koji su izloženi visokih temperaturama, uticajima kiselina i soli; stvorene su učinkovite vrste betona koje odgovaraju na visoke zahtjeve u izgradnji hidroelektrana i ostalih energetskih konstrukcija itd.

5. ZAKLJUČAK

Betoni visokih svojstava, zbog dokazanih prednosti, u gradnji nosivih, trajnih i upotrebljivih armiranobetonskih konstrukcija imaju široku primjenu. Zbog smanjene poroznosti betoni visokih čvrstoća imaju bitno poboljšana svojstva trajnosti u odnosu na betone normalne čvrstoće. U ovoj činjenici leži osnovni razlog njihove primjene u različitim agresivnim sredinama. Osim poboljšane trajnosti u odnosu na normalne betone, karakterišu ih i bolja veza između cementnog kamena i agregata, smanjeno skupljanje i pužanje, poboljšana prionjivost sa betonskim čelikom te čelikom za prednaprezanje itd.

Kada je riječ o nedostacima betona visokih performansi potrebno je istaći preovladavajuće krhko ponašanje, tj. smanjenu duktilnost. Poboljšanje duktilnosti i drugih svojstava (čvrstoća na savijanje, žilavost, otpornost na nastanak i širenje pukotina, dinamičko ponašanje) betona u očvrslom stanju postiže se uglavnom primjenom čeličnih vlakana. Za sprječavanje raspucavanja mladog betona i poboljšanje na dejstva požara upotrebljavaju se polimerna vlakna.

Ispitivanjem najznačajnijih mehaničkih svojstava i uvidom u njihove rezultate, dokazana je superiornost betona visoke čvrstoće u odnosu na betone normalnih čvrstoća. Uticaj različitih sastavnih materijala, poput otpadnog staklenog praha, čeličnih i propilenskih vlakana, bazaltnih vlakana itd., poboljšao je pojedina mehanička svojstva i trajnost betona visoke čvrstoće. U svemu navedenom leži osnovni razlog za preporuku korištenja betona visoke čvrstoće.

Beton visokih i ultra visokih performansi je veoma uspješan materijal koji osigurava visoke standard savremene gradnje, i to ne samo kroz čvrstoću i stabilnost konstrukcije, nego i u pogledu osiguranja kvaliteta života smanjujući sve standarde (energetske, materijalne, finansijske itd.) u fazi izgradnje, a posebno u fazi održavanja objekata.

Napomena: Rad je urađen u sklopu istraživanja provedenih na doktorskom studiju Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta, uža naučna oblast Građevinske konstrukcije.

LITERATURA

- [1] Khalifa S. Al-Jabri, Makoto Hisada, Salem K. Al-Oraimi, Abdullah H. Al Saidy: Copper slag as sand replacement for high performance concrete; *Cement & Concrete Composites* 31 (2009) 483-488
- [2] Dr. Vidula Sohoni, Shubham Jain, Shubham Bajaj, Humanshu Shekar, Saurav Kumar Verma: High Performance Concrete; *International Journal for Innovative Research in Science & Technology* Volume 4/Issue 1/June 2017
- [3] Masahiro Suzuki, Mohammed Seddik Meddah, Ryoichi Sato: Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete; *Cement and Concrete Research* 39 (2009) 373-381

- [4] Guilherme Chagas Cordeiro, Romildo Dias Toledo Filho, Eduardo de Moraes Rego Fairbairn: Use of ultrafine rice husk ash with high-carbon content as pozzolan in high performance concrete; *Materials and Structures* (2009) 42:983-992
- [5] Andres Salas, Silvio Delvasto, Ruby Mejia de Gutierrez, David Lange: Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete; *Cement and Concrete Research* 39 (2009) 773-778
- [6] Nguyen Van Tuan, Guang Ye, Klaas van Breugel, Alex L.A. Fraaij, Bui Danh Dai: The study of using rice husk to produce ultra high performance concrete; *Construction and Building Materials* 25 (2011) 2030-2035
- [7] G. Manoj, G. Premkumar: An experimental study on behaviour of aramid fibre reinforced high performance concrete under elevated temperature; *International Journal for Innovative Research in Science & Technology* Volume 9/Issue 5/May 2018/pp. 54-60
- [8] Damir Matokić, Ilija Gabrić: Testing very high-strength concrete containing volcanic aggregate; *Građevinar* 63 (2011) 12, 1043-1051
- [9] B. M. Vinay Kumar, H. Ananthan, K.V.A. Balaji: Experimental studies on utilization of recycled coarse and fine aggregates in high performance concrete mixes; *Alexandria Engineering Journal* (2018) 57, 1749-1759
- [10] A. Talah, F. Kharchi, R. Chaid: Influence of Marbel Powder on High Performance Concrete Behavior; 1st International Conference on Structural Integrity, *Procedia Engineering* 114 (2015) 685-690
- [11] P. Dinakar, Pradosh K. Sahoo and G. Sriram: Effect of Metakaolin Content on the Properties of High Strength Concrete; *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.7, No.3, pp. 215-223, September 2013
- [12] Chellakavitha Nagarajan, Prabavathy Shanumugasundaram, Sree Rameswari Anmeeganathan: Properties of high strength concrete containing surface-modified crumb rubber; *Građevinar* 71 (2019) 7, 579-588
- [13] E. H. Kadri, S. Aggoun, S. Kenai and A. Kaci: The Compressive Strength of High-Performance Concrete und Ultrahigh-Performance; *Advances in Materials Science and Engineering* Volume 2012/Article ID 361857/7 pages
- [14] Baek-II Bae, Hyun-Ki Choi and Chang-Sik Choi: Flexural Strength Evaluation of Reinforced Concrete Members with Ultra High Performance Concrete; *Advances in Materials Science and Engineering* Volume 2016
- [15] Yuliarti Kusumawardaningsih, Ekkehard Fehling, Mohammed Ismail, Attitou Amen Mohamed Aboubakr: Tensile strength behaviour of UHPC and UHPFRC; *The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum, Procedia Engineering* 125 (2015) 1081 – 1086
- [16] Doha M. Al Saffar, Aymen J.K. Al Saad, Bassam A. Tayeh: Effect of internal curing on behavior of high performance concrete: An overview; *Case Studies in Construction Materials* 10 (2019) e00229
- [17] V.K.R. Kodur, T.C. Wang, F.P. Cheng: Predicting the fire resistance behaviour of high strength concrete columns; *Cement & Concrete Composites* 26 (2004) 141-153
- [18] Xiaolong Tong, Zhi Fang, Xiao Luo, Lan Gong: Study on shear capacity of ultra-high performance concrete squat shear walls; *Case Studies in Construction Materials* 12 (2020) e00314
- [19] Tehmina Ayub, Nasir Shafiq, M. Fadhil Nuruddin: Mechanical Properties of High-Performance Concrete Reinforced with Basalt Fibers; *Fourth International Symposium on Infrastructure Engineering in Developing Countries, IEDC 2013, Procedia Engineering* 77 (2014) 131-139
- [20] Vahid Afroughsabet, Togay Ozbakkaloglu: Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers; *Construction and Building Materials* 94 (2015) 73-82
- [21] Nguyen Quangphu, Jiang Linhua, Liu Jiaping, Tian Qian, Do Tienquan: Influence of shrinkage-reducing admixture on drying shrinkage and mechanical properties of high-performance concrete; *Water Science and Engineering*, Dec. 2008, Vol. 1, No. 4, 67-74
- [22] Laura Dembovska, Diana Bajare, Ina Pundiene, Laura Vitola: Effect of Pozzolanic Additives on the Strength Development of High Performance Concrete; *Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016, Procedia Engineering* 172 (2017) 202-210
- [23] Msheer Hasan Ali, Youkhanna Zayia Dinkha, James H. Haido: Mechanical properties and spalling at elevated temperature of high performance concrete made with reactive and waste inert powders; *Engineering Science and Technology, an International Journal* 20 (2017) 536-541
- [24] Metin Husem: The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete; *Fire Safety Journal* 41 (2006) 155-163

-
- [25] Amin K. Akhnoukh, Hala Elia: Developing high performance concrete for precast/prestressed concrete industry; *Case Studies in Construction Materials* 11 (2019) e00290
- [26] Amin K. Akhnoukh: Accelerated bridge construction projects using high performance concrete; *Case Studies in Construction materials*; (2019)
- [27] Maha M.S. Ridha, Nagham T.H. Al-Shafi'i, Milad M. Hasan: Ultra-high performance steel fibers concrete corbels: Experimental investigation; *Case Studies in Construction Materials* 7 (2017) 180-190
- [28] N. Randl, T. Steiner, S. Ofner, E. Baumgartner, T. Meszoly: Development of UHPC mixtures from an ecological point of view; *Construction and Building Materials* 67 (2014) 373-378
- [29] Wojciech Kubissa, Tamas Simon, Roman Jaskulski, Pavel Reiterman, Marcin Supera: Ecological high performance concrete; *Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016, Procedia Engineering*
- [30] Viatceslav Konkov: Principle Approaches to High Performance Concrete Application in Construction; *11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, Procedia Engineering* 57 (2013) 589-596

PROBLEMATIKA IZBORA BUŠAĆIH ŠIPKI ZA IZRADU MINSKIH BUŠOTINA NA PK "VIJENAC" LUKAVAC

Sanel Nuhanović¹, Adnan Hodžić², Muhidin Brčaninović³, Muamer Muratović⁴

SAŽETAK

Rad predstavlja analizu uzroka i faktora koji dovode do loma niza bušaćeg alata u dijelu navojnih spojeva bušaćih šipki pri izradi minskih bušotina, za potrebe eksploatacije krečnjaka na površinskom kopu "Vijenac" Lukavac.

Kao mogući uzroci navedeni su geološki i tehničko-tehnološki faktori, od kojih je većina i analizirana u ovom radu. Pošto se geološki faktori tretiraju kao nepromjenjivi i na njih se ne može uticati, pažnja je posvećena uzrocima inklinacije kanala bušotine, kvalitetu niza bušaćeg alata, te primijenjenim parametrima udarno-rotacionog bušenja, prvenstveno primijenjenom osnom opterećenju na dlijeto.

Na osnovu provedenih analiza i opsežne diskusije, doneseni su određeni zaključci, čije provođenje može eliminisati neželjene pojave inklinacije ose kanala bušotine i trošenja reznih struktura dlijeta, te smanjiti vrijeme potrebno za izradu jedne bušotine i ograničiti ili potpuno eliminisati lomove niza bušaćeg alata u dijelu navojnih spojeva bušaćih šipki pri izradi minskih bušotina na ovom ležištu.

Ključne riječi: bušenje, bušaća šipka, navoj bušaće šipke, lom bušaće šipke

1. UVOD

Potreba za kontinuiranom proizvodnjom na Rudniku krečnjaka "Vijenac" d.o.o. Lukavac dovodi do redovnih zahtjeva za izradom minskih bušotina, sa ciljem miniranja i dobivanja unaprijed određenih količina ove nemetalne mineralne sirovine.

Na rudniku se, inače, vrši eksploatacija krečnjaka, te njegovo drobljenje i separisanje.

Sa ciljem eksploatacije krečnjaka miniranjem sa proizvodnih etaža, izrađuju se minske bušotine efektivne dubine do 25 m.

Minske bušotine se izrađuju samohodnim bušaćim garniturama firme "Atlas Copco", udarno-rotacionom metodom bušenja, sa čekićem na površini (engl. "Top Hammer").

Tokom izrade određenog broja minskih bušotina dolazilo je do loma niza bušaćeg alata u dijelu bušaćih šipki, odnosno njihovih navojnih spojeva.

Mogući uzroci ovih lomova će biti razmatrani u ovom radu.

2. POLOŽAJ I GEOLOGIJA LEŽIŠTA KREČNJAKA "VIJENAC"

Rudnik krečnjaka "Vijenac" nalazi se 23 km jugozapadno od Lukavca, sa kojim je povezan asfaltnim putem. Do Rudnika vodi i drugi, priključni, asfaltirani pravac iz Banovića, u dužini od oko 12 km.

¹ Prof. Sanel Nuhanović, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla, sanel.nuhanovic@untz.ba

² Prof. Adnan Hodžić, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla, adnan.hodzic@untz.ba

³ Doc. Muhidin Brčaninović, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla, muhidin.brcaninovic@untz.ba

⁴ Muamer Muratović, Bachelor-inženjer rudarstva za bušotinsku eksploataciju

Isti se, pod samim podnožjem "Vijenca" spaja sa navedenim priključnim putem iz Lukavca.

Najbliže naseljeno područje je selo Gornje Jaruške, a nalazi se zapadno od "Vijenca" na udaljenosti oko 2 km vazdušne linije.

Područje PK "Vijenac" nalazi se između neogenih basena Tuzle i Banovića, odnosno jugoistočno od ofiolitskog kompleksa Ozren-Uzlomac. Sa sjevera se područje "Vijenca" graniči sa Tuzlanskim basenom, a na južnoj strani je basen Banovići. To je blago zatalasani, pošumljeni teren na kojem sprudni krečnjaci strše među zaravnjenim metamorfnim i magmatskim stijenama.

Prvi podaci o geološkoj građi ovog područja datiraju iz druge polovine XIX vijeka, a predstavljeni su od strane austrijskih i mađarskih geologa: Rzhak, A. (1879.), John, C. (1880.), Walter, B. (1887.) i Radinski, W. (1889.), a mogu se pronaći i podaci dati od E. Mojsisovics, E. Tietze i A. Bittner (1880.).

Detaljnim geološkim kartiranjem [1], izdvojene su sljedeće stratigrafske jedinice:

- Vulkanogeno-sedimentna formacija, jurske starosti, predstavljena serpentinitima, koji zauzimaju cjelokupan sjeverni dio istražnog prostora. Javljaju se kao velika masa koja sa sjevera i istoka okružuje ležište krečnjaka "Vijenac".
- Krečnjaci gornje jure i donje krede predstavljaju najznačajniji litološki član na ovom prostoru. Kontakt sa serpentinitima je tektonski, morfološki jasno izdiferenciran. Prema geološkoj karti ležišta, zauzimaju centralne i južne dijelove. Značajna osobina ovih krečnjaka je izražena karstifikacija i pukotinsko-prslinska ispućalost.



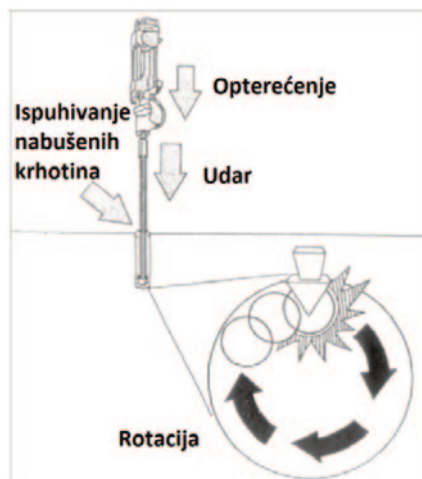
Slika1. Geološka karta šireg područja PK „Vijenac“ [2]

Geološke rezerve krečnjaka se procjenjuju na 350 do 400 milona tona. Projektovani kapacitet rudnika je jedan milion tona na godinu, a projektovani kapacitet žičare je 150 t/h.

3. KARAKTERISTIKE BUŠENJA NA PK "VIJENAC"

Na PK "Vijenac" izvode se masovna miniranja u cilju dobivanja mineralne sirovine. Bušenje u svrhu miniranja izvodi se samohodnim bušaćim garniturama, koje koriste princip udarno-rotacionog bušenja sa čekićem na površini ("Top Hammer").

Proces bušenja odvija se na način da čekić, koji je smješten na vodilici, pogonjen komprimiranim zrakom ili hidrauličkim uljem generiše udar i rotaciju (slika 2).



Slika 2. Shema rada bušaće garniture sa čekićem na površini [3]

Udarni impuls postiže se ubrzavanjem klipa u bušačem čekiću, koji udara na klip bušaće šipke. Niz bušaćih šipki prenosi udarnu energiju brzinom od približno 5000 m/s, sve do dlijeta, koje, preko umetaka od vrlo tvrde legure, razrušava stijensku masu na dnu bušotine. Tokom tog procesa ne dolazi do utroška cjelokupne količine energije na destrukciju stijene, nego se, jedan dio, reflektira u obliku povratnog talasa. Bušaće šipke, takođe, prenose i rotaciju kojom rotira klip na čekiću. Opterećenje na dlijeto osigurava vodilica na način da sistemom čeličnih užadi, lanaca ili hidraulički vuče ili gura čekić na koji je pripočan niz bušaćih šipki, i to u smjeru bušenja. U ovom slučaju riječ je o hidrauličkom prenosu energije. Ono što je bitno je da se, kod ovih izvedbi bušaćih garnitura, sve tri potrebne komponente za razrušavanje stijene (opterećenje, rotacija i hidraulika) generišu na površini. Izošenje nabušenih čestica stijene iz bušotine odvija se pomoću komprimiranog zraka. Bušaće garniture sa čekićem na površini, generalno, pogodne su za korištenje u srednje tvrdim do tvrdim stijenama, što odgovara profilu ležišta, ali i za bušotine prečnika 127-140 mm i dubine do 20 m [4], što prečnikom bušenja ne odgovara standardima bušenja i proizvođača opreme.

3.1. BUŠAĆE GARNITURE NA PK "VIJENAC" LUKAVAC

Za izgradnju minskih bušotina na PK "Vijenac" koriste se samohodne bušaće garniture sa udarno-rotacionim sistemom bušenja, uz upotrebu vanjskog čekića, švedske firme "Atlas Copco", različitih karakteristika, zavisno od tipa postrojenja. Osnovne karakteristike predstavljene su u tabeli 1.

Ovaj tip bušaćeg čekića, osim rotacije i udara u smjeru bušenja, ima mogućnost generisanja udarne sile suprotno od smjera bušenja, odnosno pri izvlačenju bušaćih šipki (cijevi). Na taj se način izbjegava "zaglavljivanje" bušaćeg dlijeta te njegov gubitak u bušotini, što je bitno naglasiti, jer je riječ o preporuci proizvođača. Za bušenje se koriste bušaće šipke tipa T51 MF, dužine 3660 mm, aproksimativne mase oko 50 kg po šipci. Kaljene su i napravljene od SANBAR 64 materijala.

Tabela 1. Osnovne karakteristike bušaće garniture ROC D7

Karakteristike bušaće garniture ROC D7	
Proizvođač	Atlas Copco
Tip	ROC D7
Snaga pogonskog agregata	168 (kW)
Radni pritisak kompresora	6 – 7 (bar)
Protok zraka	105 (l/s)
Maksimalni pritisak hidraulične pumpe	250 (bar)
Masa	14 200 (kg)
Maksimalna brzina	3,6 (km/h)
Vučna sila	110 (kN)
Maksimalni nagib	20 (°)
Dužina bušaćih šipki	3660 (mm)

4.PROBLEMATIKA LOMA BUŠAČIH ŠIPKI NA PK "VIJENAC"

Postojeće stanje bušaće garniture na PK "Vijenac" govori o njenoj dugogodišnjoj upotrebi i "raubovanju", te malim ulaganjima, sa očekivanjem velike iskoristivosti.

Trenutno je u radu bušaća garnitura, sa raspolagajućim alatom, sa sljedećim parametrima:

- I garnitura bušačih šipki - 8 komada bušačih šipki, nabušeno 12.100 m,
- II garnitura bušačih šipki - 8 komada bušačih šipki, nabušeno 6.550 m,
- III garnitura bušačih šipki - 8 komada bušačih šipki, nabušeno 1.425 m,
- IV garnitura bušačih šipki - 8komada bušačih šipki, nabušeno 3.150 m,

4.1. UOČENI PROBLEMI

Prilikom izrade minskih bušotina na PK "Vijenac", dolazi do loma bušačih šipki, najčešće na drugoj bušačoj šipci od dlijeta, odnosno na navojnom spoju između dvije bušaće šipke, na nabušanim dubinama od 8,0 m i 12,7 m. Na taj način su "stradale" tri bušaće šipke T51 MF, a primjer jednog takvog loma se može vidjeti na slici 3.



Slika 3. Izgled bušaće šipke nakon loma (PK "Vijenac")

Osnovni parametri bušenja predstavljani su u tabeli 2.

Tabela 2. Vrijednosti osnovnih parametara bušenja minskih bušotina na PK "Vijenac"

Parametar bušenja	Vrijednost parametra
Efektivna dubina bušenja	25 (m) (buši se 8 – 18 m)
Padni ugao bušenja	70 (°)
Trajanje bušenja	25 (min)
Pritisak ulja u rotaciji	50 (bar)
Pritisak zraka u čekiću	6 (bar)
Pritisak komprimiranog zraka	12 (bar)
Prečnik bušenja	89 (mm) (3,5")
Dubina bušotine	14,30 (m)
Bušaće šipke	4 x 3,66 (m) (ukupno 14,64 m)

Geologija terena i uslovi bušenja, predstavljeni su na slici 4.



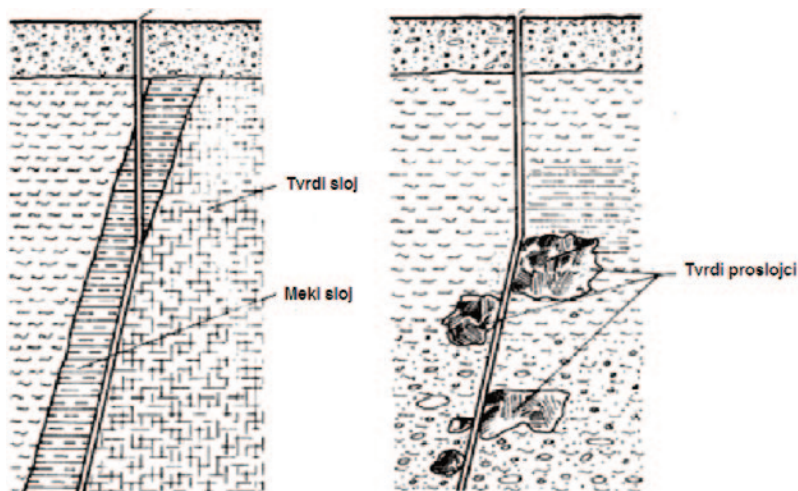
Slika 4. Uslovi bušenja i ispucalost krečnjaka na PK "Vijenac"

U cilju što kvalitetnije analize problema, potrebno je istaknuti i postojanje proslojaka u slojevima krečnjaka, kao posljedice njihove karstifikacije, a što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Proslojci u krečnjaku na PK "Vijenac"

Teorija, ali i praksa bušenja, poznaje niz problema vezanih za izradu kanala bušotine u stijenama različite tvrdoće, pri čemu redovno dolazi do pojave inklinacije, odnosno skretanja projektovane trajektorije kanala bušotine, što može dovesti do loma niza bušačkog alata (slika 6).



Slika 6. Inklinacija kanala bušotine pri prolazu kroz slojeve različite tvrdoće i pri prolazu kroz naslage sa tvrdim proslojcima

Razmatrajući postojeći problem, realno je krenuti od sljedećih pretpostavki:

1. Lom bušačkih šipki, na tako "malim" dubinama, posljedica je nailaska na tvrde proslojke u sloju krečnjaka, nailaska na rasjedne zone, ili je posljedica ispucalosti radne sredine (RQD);
2. Lom bušačkih šipki posljedica je "zamora materijala" od koga su bušaće šipke izrađene, a sve zbog prekomjernog korištenja i "raubovanja" istih;
3. Lom bušačkih šipki je posljedica slabije optimiziranog režima bušenja (odnos opterećenja na dljetu, brzine rotacije i broja udara, te količine ispirnog fluida – zraka).

Iz ovako definisanih pretpostavki, očekivani zaključak je da do loma bušačkih šipki dolazi kombinacijom sva tri navedena slučaja.

5. DISKUSIJA

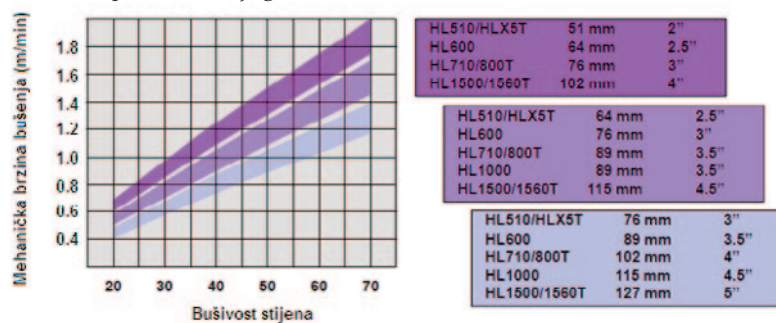
Predstavljene slike (slika 4 i slika 5), pokazuju geologiju terena u profilu radnih etaža. Na njima se jasno uočava slojevitost krečnjaka, njegova ispucalost i postojanje "tvrdih" proslojaka. Shodno prvoj pretpostavki, u takvim zonama može doći do inklinacije kanala bušotine (slika 6) i loma niza bušačkog alata (u ovom slučaju niza bušačkih šipki), pri čemu su navojni spojevi, u mehaničkom smislu, najslabiji dio tog niza, što i pokazuje slika 3. Svako "skretanje" ose kanala bušotine od projektovanog pravca dovodi do mogućnosti prekomjernog trošenja bušačkih šipki, usljed njihovog neprestanog kontakta sa zidom kanala bušotine, kao i do loma, usljed "zaglavlivanja" alata tokom njegovog manevrisanja. Do takvih lomova češće dolazi ukoliko je ugao inklinacije kanala bušotine veći na manjoj razdaljini, ili ukoliko bušaće šipke ne zadovoljavaju standarde proizvođača, odnosno ako su njihove tvorničke karakteristike svedene na klasu III, ili nižu, te neodgovarajući GRAD kvaliteta [5]. Pojava tvrdih proslojaka ili pukotina u stijeni može dovesti do takvog razvoja događaja (slika 6). U ovom slučaju, uvidom u raspoložive garniture bušačkih šipki, može se vidjeti ukupno nabušena "metraža" istih (poglavlje 4.), koja se kreće i po nekoliko hiljada metara. Dakle, uglavnom se radi o starim i prilično istrošenim bušačim šipkama i njihovih navojnih spojeva. Ovdje je potrebno istaći da je izvođač radova proizvođaču poslao na ispitivanje dvije bušaće šipke, dužine po 3,0 m, i da su, prema rezultatima proizvođača, a na osnovu obavljenih laboratorijskih ispitivanja, iste u potpunosti zadovoljile neophodne tehničke karakteristike. To je pokazala rendgenska analiza strukture materijala od koga je bušaća šipka izrađena. Ovom metodom nije utvrđeno postojanje greške u strukturi materijala u tehnološkom procesu proizvodnje. Naime, prema rezultatima ispitivanja, proizvođač je istakao sumnju u način "eksploatacije" bušaće šipke.

Napominjemo da uzorak od dvije bušaće šipke, od četiri postojeće garniture bušačkih šipki, svakako ne predstavlja "reprezentativan" uzorak, te se dobiveni laboratorijski rezultati ispitivanja kvaliteta bušačkih šipki ne mogu smatrati suviše relevantnima, jer ne posjedujemo podatke o tome koje su bušaće šipke "odabrane" i poslone na analizu. Ako bi se rezultati testiranja bušačkih šipki prihvatili kao tačni, onda bi nas to vratilo na navedenu prvu pretpostavku, ili bi nas uputilo na treću pretpostavku, koja nas dovodi do loše optimizacije osnovnih parametara udarno-rotacionog bušenja, što bi značilo da odnos opterećenja na dljetu

i brzine rotacije (uz pretpostavku kvalitetnog iznošenja nabušenih krhotina zrakom) nije dobro usklađen od strane izvođača radova. Postizanje optimalnog režima bušenja je, generalno, teško rješiv problem u tehnologiji izgradnje kanala bušotine, jer zavisi od niza geološko-tehničkih parametara (litologija radne sredine, fizičko-mehanička svojstva stijene, kvalitet bušačeg alata, iskustvo bušača, itd.). U ovom slučaju, imamo uticaj svih navedenih parametara, iako se, u tehnologiji izgradnje kanala bušotine, kao najčešći uzrok loma niza bušačeg alata, razmatra neodgovarajuće primijenjeno opterećenje na dljetu, te se ističe da do loma dolazi u slijedećim slučajevima [6]:

1. Slučaj premalog osnog opterećenja na dljetu (engl. "Underfeed") – kada se stvaraju prejaki zatezni (povratni) talasi, koji dovode do pomicanja tačke udara klipa bušačeg čekića prema naprijed, što rezultira:
 - a) velikim zateznim naprezanjima – dovode do smanjenja radnog vijeka bušaće šipke (čelika),
 - b) malim pritiscima rotacije alata (torzioni moment) – dovodi do lakšeg odvrtnja navoja bušačkih šipki i njihovog ranijeg stradanja.
2. Slučaj prevelikog osnog opterećenja na dljetu (engl. "Overfeed") – kada se javljaju prejaki kompresioni talasi, koji dovode do pomicanja tačke udara klipa bušačeg čekića prema nazad, što rezultira:
 - a) savijanjem (gnječanjem) niza bušačeg alata – dovodi do stvaranja inklinacije kanala bušotine,
 - b) visokim pritiscima rotacije – dovode do težeg odvrtnja šipki na navojnim spojevima,
 - c) velikim trenjem na kontaktu "dljetu-stijena" – dovodi do povećanog trošenja zubi dljetu.

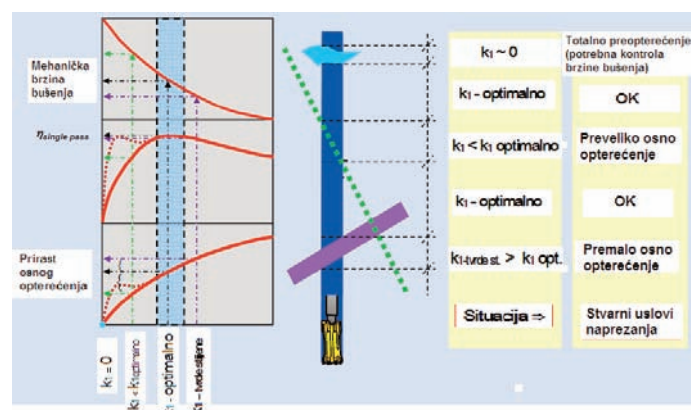
Uticaj svih navedenih parametara bušenja (osno opterećenje, brzina rotacije i hidraulika) izražava se mehaničkom brzinom bušenja (V_m), u odnosu na utvrđenu bušivost stijenskog materijala (u ovom slučaju krečnjak), što se može prikazati dijagramom na slici 7:



Slika 7. Zavisnost mehaničke brzine bušenja od vrijednosti bušivosti stijena

Bušivost krečnjaka se kreće u granicama od 40-60 [7]. Za prečnik bušenja koji se primjenjuje na PK "Vijenac" ($\Phi 3 \frac{1}{2}$ "), sa dijagrama proizilazi da bi mehanička brzina bušenja trebala da se kreće u granicama od 1,0 – 1,6 m/min. To bi značilo da bi za bušenje 15 m kanala bušotine bilo potrebno oko 9-15 minuta. Iz naprijed predstavljene tabele (tabela 2), vidi se da vrijeme bušenja jedne minske bušotine na PK "Vijenac" iznosi oko 25 minuta, što je gotovo dva puta više od potrebnog vremena.

Sa dijagrama na slici 8, vidi se da postoji veoma uzak pojas (k_1 optimalno) u kome primijenjeni parametri bušenja daju optimalne rezultate za stijene odgovarajuće čvrstoće i otpornosti na bušenje.



Slika 8. Odnos osnog opterećenja i mehaničke brzine bušenja u zavisnosti od čvrstoće stijena (k_1) [6]

Totalno preopterećenje se javlja kod nevezanih i mekih stijena, kada se zbog eventualno primijenjenog osnog opterećenja mora voditi računa o njegovoj vrijednosti, kako ne bi došlo do "propadanja" bušačkog alata kroz takav sloj. Sve dok je čvrstoća stijene, odnosno njena otpornost na bušenje (k_1) manja od optimalne, faktički se radi u zoni prevelikog osnog opterećenja, jer zubi dlijeta lakše razaraju takav stijenski materijal. U ovim slučajevima, primijenjeno osno opterećenje je veće od potrebnog ("overfeed"), te je i mehanička brzina bušenja veća od optimalne. Tada je primijenjeno osno opterećenje potrebno kontrolisati, kako ne bi došlo do neželjene pojave "gnječenja", odnosno savijanja niza bušačkog alata, zbog prevelike kompresije, što može dovesti do loma niza bušačkog alata.

Samo u uslovima kada je k_1 – optimalno, odnosno kada je osno opterećenje potpuno prilagođeno uslovima čvrstoće stijene i njene otpornosti na prodiranje bušačkog alata, imamo optimalne uslove za bušenje. U slučaju kada je čvrstoća stijene veća od optimalne, dešava se da je primijenjeno osno opterećenje na dlijeto nedovoljno ("underfeed") za optimalnu brzinu bušenja, koja se tada smanjuje. Tada je, takođe, potrebno korigovati primijeneno osno opterećenje, kako ne bi došlo do istežanja niza bušačkog alata, i njegovog loma.

Budući da se, u slučaju bušenja na PK "Vijenac" radi o bušenju u krečnjačkim formacijama, i da samo bušenje traje, kako smo već naveli, mnogo duže nego što je to slučaj kod optimalnih parametara bušenja, za pretpostaviti je da sam parametar osnog opterećenja na bušače dlijeto nije dobro postavljen, odnosno izabran. Obično se radi o prevelikom primijenjenom osnom opterećenju na dlijeto, što u ovakvim slučajevima, dovodi do povećanog trošenja zubi bušačkog dlijeta, pojave devijacije kanala bušotine te, na kraju, do loma bušačkih šipki. Ponekad je uzrok za to i premorenost bušačkog osoblja, odnosno želja da se zadani posao izvrši "u roku", bez obzira na posljedice.

Tehničko-tehnološki uzroci (u prvom redu savijanje niza bušačkih šipki zbog preopterećenja dlijeta) dovode do promjene u obliku i presjeku kanala bušotine, te pojave ekscentričnosti niza bušačkih šipki i dlijeta. Gubitkom reznih struktura dlijeta i odstupanjem od projektovane ose kanala bušotine, dolazi do savijanja bušače šipke sa povećanjem naprezanja, što dovodi do loma bušače šipke, djelimično uzrokovanim i intenzivnim trenjem šipke o stijensku masu, odnosno zidove kanala bušotine. Zbog toga se pojavljuju problemi prilikom manevara (spuštanja i izvlačenja) niza bušačkog alata, koji takođe utiču na njegov gubitak tokom izvođenja bušačkih radova.

Kao posljedica svega toga, u velikoj mjeri zbog iskrivljenosti bušače šipke, onemogućen je završetak bušotine na predviđenoj dubini, što proizilazi iz Izvještaja dostignutih dubina tokom rada bušače garniture. Polazeći od navedenog, potrebno je uskladiti režim bušenja naspram utvrđenih karakteristika radne sredine ("RQD"), sa pravilnim odabirom bušačkog alata. Jedna od mogućnosti smanjenja uočenih problema u nastavku radova je i uvođenje u niz bušačkog alata jedne "teške" bušače šipke ("Heavy Weight Drill Pipe"), odgovarajućeg kvaliteta, koja će smanjiti mogućnost pojave otklona ose kanala bušotine, naročito pri prolasku kroz ispucale i rasjedne zone.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U cilju kontinuirane proizvodnje krečnjaka na PK "Vijenac" miniranjem, izrađuju se minske bušotine efektivne dubine do 25 m, udarno-rotacionom metodom bušenja, sa korištenjem čekića na površini ("Top Hammer"). Pri tome, na određenom broju bušotina, dolazi do pojave loma niza bušačkog alata u dijelu navojnih spojeva bušačkih šipki, najčešće između druge i treće, ili treće i četvrte bušače šipke od dlijeta (dubine 8,0 – 12,7 m). Navojni spojevi su, generalno, najslabiji dio bilo kog niza bušačkog alata.

Proces bušenja u mnogome otežavaju i geološke karakteristike samog ležišta, ugao zalijeganja slojeva, postojanje brojnih proslojaka tvrdog materijala, ispucalost krečnjaka, te postojanje brojnih, manjih ili većih, rasjednih zona. Sve to može biti uzrok loma bušačkih šipki, nastalog usljed pojave devijacije kanala bušotine, kao posljedice jednog od navedenih geoloških faktora.

Ipak, na geološke karakteristike ležišta se ne može uticati, tako da su to faktori koji pripadaju grupi nepromjenjivih, pri analizi optimaliziranja parametara i ukupnih rezultata bušenja.

Kako je navedeno u radu, do loma bušačkih šipki na njihovim navojnim spojevima najčešće dolazi zbog djelovanja jednog ili više zajedničkih uzroka, a to su, u ovom slučaju:

- nailasci na tvrde proslojke, ispucalost radne sredine ili nailazak na rasjednu zonu,
- zamor materijala od koga su bušače šipke izrađene (zajedno sa njima i navojni spojevi) i
- neodgovarajući parametri bušenja (opterećenje na dlijeto, brzina rotacije i broj udara, te količina i brzina zraka za iznošnje nabušenih krhotina iz kanala bušotine na površinu terena).

Pošto je nailaske na tvrde proslojke, rasjednu zonu ili samu ispucalost krečnjaka kao radne sredine, praktično nemoguće izbjeći, ostalo je da se, u korelaciji sa navedenim uzrocima, analizira stepen zamora materijala i primijenjeni parametri bušenja na PK "Vijenac" Lukavac.

Analiza zamora materijala bušaćih šipki pokazala je da (na dvije bušace šipke, koliko ih je analizirano), na osnovu obavljenih laboratorijskih ispitivanja, iste u potpunosti zadovoljavaju potrebe, te da nije utvrđeno postojanje greške u strukturi materijala u tehnološkom procesu proizvodnje. To je pokazala rendgenska analiza strukture materijala od koga je bušaca šipka izrađena.

Prema rezultatima ispitivanja, proizvođač je istakao sumnju u način "eksploatacije" bušace šipke.

Ističemo da je analiza samo dvije proizvoljno odabrane bušace šipke od ukupno 32 bušace šipke, sa koliko ih se raspolaže u 4 garniture bušaćih šipki, nedovoljna i ne može se smatrati relevantnom, jer su neke bušace šipke (prva garnitura) izbušile preko 10 000 m ukupne dužine kanala bušotine za svoj dosadašnji radni vijek, dok su neke druge (na primjer, treća garnitura) izbušile oko 1 500 m.

Nemamo podatke koje dvije bušace šipke su bile na analizi i na koji način su određene i odabrane za analizu.

Razmatranje primijenjenih parametara bušenja (u prvom redu primijenjenog osnovnog opterećenja na dlijeto, uz pretpostavku adekvatne brzine rotacije i primijenjenog broja udara, kao i adekvatne količine ispirnog fluida, odnosno zraka) dovodi nas do zaključka da primijenjeno osnovno opterećenje nije optimalno i da je, uglavnom, veće od potrebnih optimalnih vrijednosti. Zbog toga, u kombinaciji sa navedenim geološkim faktorima, dolazi do pojave inklinacije kanala bušotine i prevelikog trošenja reznih struktura dlijeta, a što za posljedicu ima smanjenu mehaničku brzinu bušenja, odnosno povećano vrijeme potrebno za izradu kanala bušotine i, na kraju, lom niza bušaćeg alata u dijelu navojnih spojeva bušaćih šipki. Trošenje reznih struktura dlijeta i teškoće sa manevarisanjem niza bušaćeg alata očituju se i u potrebnom vremenu izrade kanala bušotine, koje je gotovo dva puta veće od propisanih normativa za novi bušaci alat, a sve to, uz pojavu inklinacije ose kanala bušotine, dovodi do nemogućnosti dostizanja projektovane dubine bušotine, trošenja bušaćeg alata i njegovog loma.

Moguće je da u svemu tome učestvuju i tzv. organizacijski uzroci, odnosno da se neki posao mora završiti u predviđenom vremenskom okviru, iako za to ne postoje tehnički uslovi, te se bušaca garnitura izloži neželjenim parametrima.

Potrebno je osnovne parametre udarno-rotacionog bušenja prilagoditi uslovima radne sredine te, po mogućnosti, vremenom "izraubane" bušace šipke zamijeniti novijim.

Ukoliko postoji mogućnost, u niz bušaćeg alata, odmah iznad dlijeta, ubaciti jednu "tešku" (veće mase) bušacu šipku (engl. "Heavy Weight Drill Pipe"), kako bi se umanjila mogućnost pojave inklinacije ose kanala bušotine. Investitor bi, takođe, trebao razmotriti mogućnost nabavke i uvođenja u tehnološki proces bušenja samohodne bušace garniture za udarno-rotaciono bušenje sa čekićem na dnu (engl. "Down The Hole" – DTH), jer ta metoda udarno-rotacionog bušenja daje dosta bolje rezultate u odnosu na postojeću ("Top Hammer"), pogotovo u pogledu održanja ose kanala bušotine i, uopšte, kvaliteta izrađenih minskih bušotina u složenim radnim sredinama, kakav je slučaj sa ležištem krečnjaka "Vijenac".

LITERATURA

- [1] Žigić, I., Pašić-Škripić, D., Skopljak, F. (2018). Izvorišta "Vrela" - PK Vijenac u općini Lukavac. Konferencija „ODRŽAVANJE - MAINTENANCE 2018“. Str. 321.-327. Zenica
- [2] OGK 1:100000-list Zavidovići
- [3] Kahraman, S. et al. (2003). Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 40. str. 711–723.
- [4] Kujundžić, T. (2006). Bušenje, Interna skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- [5] Bizjak, R. (2004). Tehnologija bušenja sa projektovanjem. DIT NIS Novi Sad
- [6] Lislerud, A., Hissem, B. (2009). Drilling Applications. Improving processes. Instilling Expertise. Quarry Academy, Tampere (<https://www.911metallurgist.com/blog/wp-content/uploads/2016/01/Drilling-Applications-2-1.pdf>)
- [7] Bhawani, S., Goel, R.K. (2012). Engineering Rock Mass Classification. Butterworth-Heinemann. Elsevier Inc.

INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA ZA IZGRADNJU STAMBENOG NASELJA U ZONI SLIJEGANJA U PODRUČJU GRADA TUZLA

Jasenko Čomić¹, Rejhana Dervišević²

SAŽETAK

U užem području grada Tuzla, na području koje se nalazi unutar granice slijeganja terena, u kojoj je definisana granica tzv. "zone izraženih deformacija", investitor "Dženex doo" Tuzla, planira izgradnju pet stambenih objekata različitih horizontalnih gabarita, iste spratnosti.

Područje istraživanja je u prethodnom period značajno degradirano procesom slijeganja, koji je nastao kao posljedica nekontrolisanog izluživanja slanice, usljed čega su značajno izmjenjene nivelacione karakteristike terena u odnosu na stanje prije započete intezivne eksploatacije soli. Nadležne gradske službe su, u postupku utvrđivanja mogućnosti, načina, tipa te definisanja dinamike eventualne izgradnje na predmetnoj lokaciji, zahtijevali i provođenje geodetskog monitoringa procesa slijeganja. U radu su, s obzirom na vrlo kompleksan građevinski zahvat u odnosu na istraživani lokalitet, analizirane inženjerskogeološke, hidrogeološke i geotehničke karakteristike područja, kao i podaci detaljnog geodetskog monitoringa. Za potrebe terenskih i laboratorijskih ispitivanja urađeno je i dvanaest geomehničkih bušotina.

Ključne riječi: inženjerskogeološka istraživanja, geološka građa, slijeganje, nosivost

1. UVOD

Na lokaciji užeg gradskog područja na zemljištu koje je po namjeni definisano kao "građevinsko zemljište", planirana je postepena izgradnja pet stambenih objekata različitih horizontalnih gabarita. Ova lokacija nalazi se u bivšem krugu "Amosa", na k.č. 256/4, 256/10 i 256/11, K.O. Tuzla I, u ulici Kojšino, Mjesna zajednica Centar, grad Tuzla.

Istraživani prostor nalazi se unutar zone izraženih deformacija slijeganja kao posljedica eksploatacije soli, a preko ove prostorne cjeline prelazi granica zone sa izraženim ožiljcima slijeganja i granice podzona sa različitim stepenom konsolidacije terena, što ukazuje na složene inženjerskogeološke karakteristike područja. Planirani objekti, označeni kao A1, B1, B2, B3, C1 spratnosti P+3, su situirani između, ili tangiraju granicu tri izdvojena ožiljka slijeganja.

Istraživanja su imala za cilj da se definišu uslovi temeljenja objekata koji su predviđeni za izgradnju. Podaci su prikupljeni mjerenjima na terenu i laboratorijskim istraživanjima, interpretirani i aplicirani na temeljno tlo u zoni uticaja objekta. Uz referentne parametre izvedeni su proračuni kojima se definišu uslovi i metode temeljenja objekta. Parametri koji potiču od uticaja regionalnog karaktera, kao što su seizmički uticaji ili režim voda u podzemnim izdanima, preuzeti su iz rezultata regionalnih istraživanja i primenjeni na lokaciji istraživanja u skladu sa njenom pozicijom u prostoru.

U radu su predstavljene inženjerskogeološke, geotehničke i hidrogeološke karakteristike područja istraživanja na osnovu rezultata različitih metoda istraživanja. Na osnovu dobijenih rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja izvršeni su potrebni proračuni za definisanje uslova temeljenja objekata planiranih za izgradnju, kao i uređenja terena.

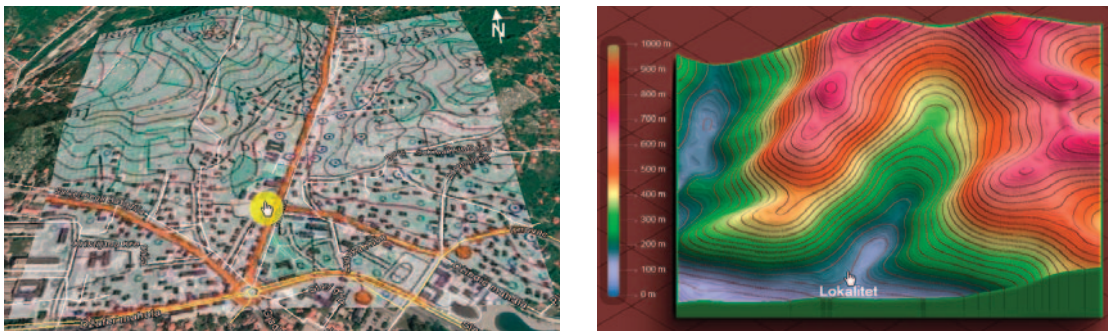
¹ Mr.sci. Jasenko Čomić, Georad d.o.o.Tuzla, jaskocomic@gmail.com

² Prof. Rejhana Dervišević, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli, rejhana.dervisevic@untz.ba

2. GEOGRAFSKE I GEOMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Izgradnja objekata planirana je u urbanom gradskom području mjesne zajednice Centar. S južne strane, ovaj lokalitet je u kontaktu sa prostornom cjelinom ZBR Slatina 1, koja je definisana kao stambeno-poslovna zona sa režimom građenja I stepena [5].

Geografski položaj lokaliteta određen je koordinatama $44^{\circ}32'33.40''$ sjeverne širine i $18^{\circ}40'23.52''$ istočne dužine po Griniču. Morfološki, lokalitet se nalazi u ulegnutom, zaravnjenom dijelu terena (slika 1) na kojem se nalaze objekti tipične stare gradnje sa vidljivim deformacijama nastalim kao posljedica nekontrolisane eksploatacije sonog ležišta. Istočno i zapadno od područja istraživanja zastupljen je padinski reljef i ne uočavaju se tragovi destrukcije i klizanja terena. Prosječna apsolutna kota istraživanog terena iznosi oko 240.00 mnv. Konfiguracija istraživanog terena sagledana je i prikazana uz korištenje topografske osnove (R 1: 25 000) i georeferensirane karte karte (R 1: 2 500) u 3D modelu (Slika 1).



Slika 1. Geografski i morfološki položaja lokaliteta istraživanja

Na širem području zastupljen je egzogeni tip reljefa u okviru kojeg su izdvojeni padinski, fluvijalni i vještački-antropogeni.

Padinski tip reljefa predstavlja samo podnožje južnog dijela brda Kicelj. Prosječni nagib padinskog dijela terena iznosi oko 5° , a na blaži nagib ovog dijela terena uticala je njegova geološka građa [1]. Naime, u ovoj zoni pojavljuje se deblji deluvijalni pokrivač koji čini postepen prelaz između padine sa većim nagibom (viši dijelovi brda Kicelj) i zaravnjenog riječnog platoa. Fluvijalni tip reljefa predstavljen je sa dvije posebne morfološke cjeline: klasični aluvijalni plato, te riječna terasa i jezersko-močvarne naslage, zbog čega je formiran blago nagnuti teren u pravcu jugozapada, a ovaj dio je za oko 3,0 m hipsometrijski viši od zaravnjenog aluvijalnog platoa.

Reljefni oblik lokaliteta predstavlja prelaz padinskog (eluvijalno-deluvijalni pokrivač) dok je nagnuti dio terena prekriven deluvijalnim sedimentima. Teren je generalno blago nagnut prema jugu kojeg prati fluvijalna plavna ravan terasastog toka. Usljed slijeganja terena evidentna je izmjena nivelacionih karakteristika terena u odnosu na inicijalni. Takođe je primjetan i značajan antropogeni uticaj, jer se ovo područje nalazi u urbanom dijelu Grada.

Geološki supstrat čine miocenske tvorevine, predstavljene smeđe-sivim i sivim laporima, koji su prekriveni kvartarnim tvorevinama. Šire južno područje izgrađeno je uglavnom od aluvijalnih i terasnih sedimenata rijeke Jale.

3. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Geološki supstrat u ovom dijelu terena čine miocenske tvorevine (1M_2 – nestratifikovani smeđe-sivi, sivi laporci) prekrivene kvartarnim tvorevinama. U geološkoj građi (slika 2) užeg područja istraživanja učestvuju sedimenti ležišta soli Tušanj i njegove neposredne podine. Istraživani lokalitet nalazi se na jugoistočnom perifernom području rasprostiranja trakaste (M_2 - M_1) i crvene serije (1M_1) u njenoj podini [2]. Kvartarni sedimenti predstavljeni su aluvijalnim nanosima Jale, kao i potočnim nanosima većih i manjih potoka.



Slika 2. Uvećani detalj OGK R 1: 100 000, (list Tuzla) sa satelitskom podlogom (ground-level view).

Dubina ležišta od površine iznosi 150 metara na jugoistočnom dijelu, do preko 600 m na sjeverozapadnoj poziciji ležišta. Istraživani lokalitet se nalazi na dijelu (prelazu) terena između zastupljenih eluvijalno-deluvijalnih i deluvijalnih tvorevina znatne debljine.

U hidrogeološkom smislu nepropusni bazis na istraživanom lokalitetu predstavlja lapor smeđe-sivi i sivi koji ima ulogu izolatora. Prema hidrogeološkoj funkciji, antropogeno formirani nasip i tvorevine pokrivača (ed-d) imaju ulogu hidrogeološkog provodnika. Hidrogeološki kolektori (akviferi) intergranularne poroznosti su uglavnom zastupljeni u dolini rijeke Jale (široj zoni Skvera), a po genezi se mogu razlikovati aluvijalni nanos (al) i terasni sedimenti (t_1).

Aluvijalni nanosi pripadaju subrecentnom tipu i mogu se izdvojiti facija korita (izgrađena od zaglinjenog šljunka i pijeska u donjem profile aluviona) i povodanjska facija, izgrađena od prašinstih glina, u gornjem dijelu profila. Šljunkovito-pjeskoviti dio riječnog nanosa ima kolektorska svojstva, tako da u uslovima kada se kolektorski sloj nalazi između dva izolatorska sloja, obično se formira izdan podzemne vode sa subarteskim karakteristikama.

Aluvijalni nanos rijeke Jale po sastavu, prostornim parametrima, a ni filtracionim karakteristikama glinovito-pjeskovito-šljunkovitog kompleksa, ne predstavlja značajan akvifer ovog tipa, iako ima kontinuirano rasprostiranje duž cijelog toka. U široj zoni Skvera je ranijim istraživanjima (istražnim bušenjem) utvrđena pojava jezersko-močvarnih sivo-crni mekih glina, loših geotehničkih svojstava.

Tokom geomehaničkih ispitivanja, u istražnim radovima je utvrđena pojava podzemne vode i statički nivoi podzemne vode, koji su mjereni nakon 24 i 48 sati od završetka ispitivanja. Utvrđen je položaj i izmjeren nivo vode u svakoj geomehaničkoj bušotini

Mjerenja su pokazala da je NPV u područje istraživanja u intervalu od 1,00 do 4,50 m od površine terena, što je prikazano i na podužnim profilima (slika 3).

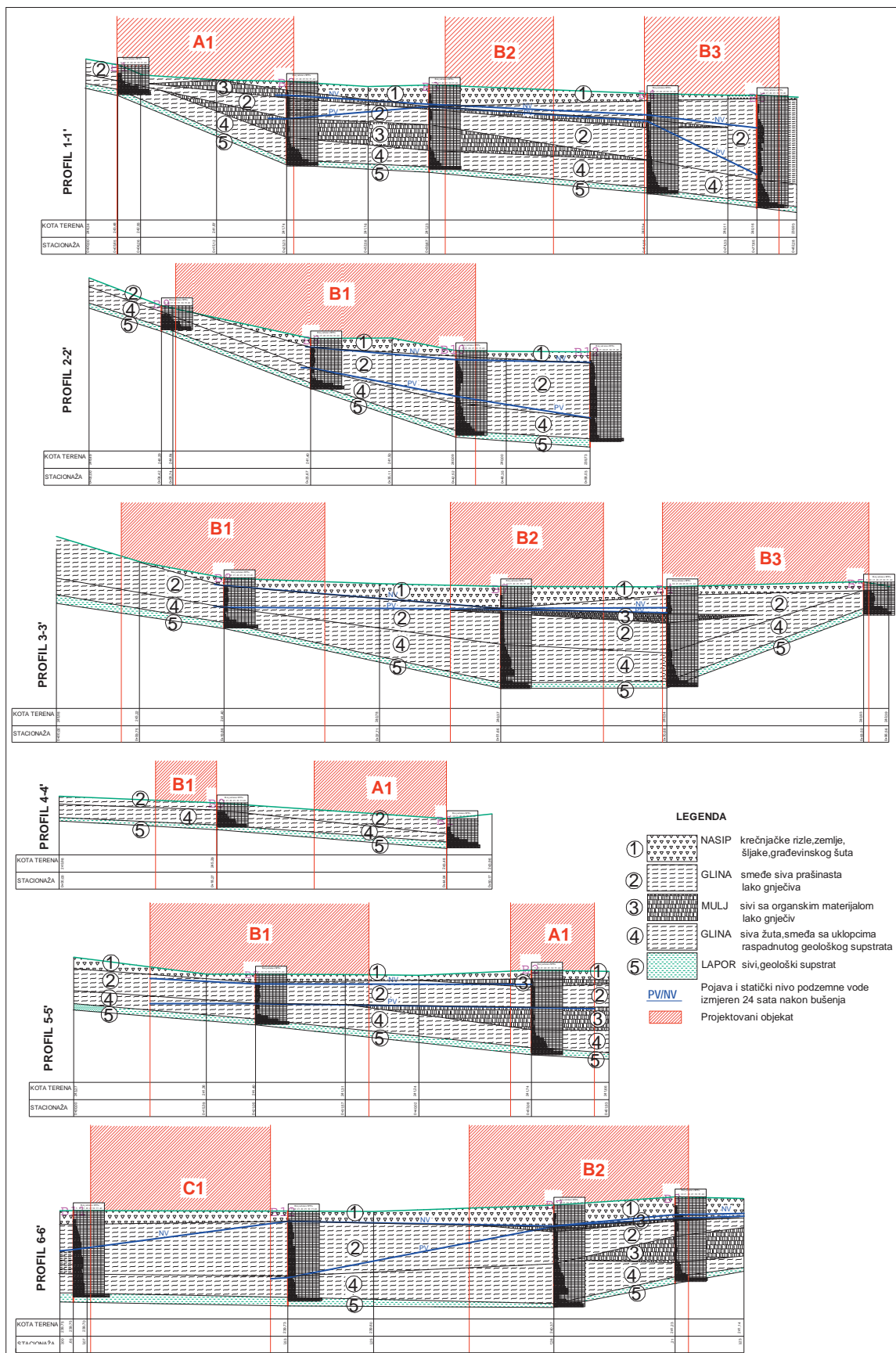
4. INŽENJERSKOGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Prema podacima prostornog plana Grada Tuzle i izvršenoj rejonizaciji zona izraženih deformacija slijeganja nastalih kao posljedica eksploatacija soli, istraživani lokalitet pripada području prelaza zona označenih kao (B2)-(B3)¹.

Kategorija (B2) obuhvata područje sa razlomima u tlu (ožiljcima slijeganja) formiranim na reviru Trnovac, a prema trenutno procijenjenom stepenu konsolidacije terena ova kategorija odlikuje se različitim stepenom konsolidacije: podzona PZ4 (stepen konsolidacije < 50%), PZ3 (50-75%), PZ2 (75-90%) i PZ1 (> 90%).

Kategorija (B3) predstavlja dijelove terena koje se nalaze izvan zone razloma na reviru Trnovac i definisane granice zone izraženih deformacija slijeganja. Prema stepenu konsolidacija na ovom dijelu izdvojene su podzone PZ3 (stepen konsolidacije kreće se od 50-75%), PZ2 (75-90%) i PZ1 (> 90%). U ovoj kategoriji terena nema izraženih razloma, ali se može očekivati pojava zbivanja, razvlačenja i izdizanja terena, kao i promjenljivo ponašanje terena u postupku konsolidacije terena.

¹ Područje B – dio terena gdje je izražen proces slijeganja koje je nastalo kao posljedica nekontrolisanog crpljenja slanice preko dubokih bunara na reviru Hukalo i Trnovac [5]. U definisanom području B izdvojene su kategorije terena sa različitim uticajem parametara slijeganja i različitim trenutnim stepenom konsolidacije terena u uslovima završene eksploatacije soli i uspostavljanja kvaziprirodnog režima nivoa podzemne vode B2 i B3.



Slika 3. – Poduzni inženjerskogeološki profili na području istraživanja

Prema zadnjim dostupnim podacima, (2012-2015.), ovaj dio terena pripada nultoj zoni slijeganja sa stepenom konsolidacije 50-75% i očekivanim slijeganjem do 5 cm.

Geološki supstrat

Kao osnovna podloga na dijelu istraživane padine izdvaja se jedan litološki tip (LT) i to: lapor smeđe-sivi glinoviti, sivi. Laporu su nabušeni u svim geomehaničkim bušotinama. Ove stijene imaju slabo slojevitost teksturu. Pod uticajem egzogeno-geoloških procesa veoma su podložni procesu raspadanja. Kroz blisku geološku prošlost na njima je formiran deblji glinoviti pokrivač. U toku bušenja konstatovano je da laporu zaliježu u horizontu 2,8 m (B1) do 12,40 m (B6) od površine terena i imaju dobra geotehnička svojstva. U hidrogeološkom pogledu, laporu predstavljaju hidrogeološku barijeru. Prema građevinskoj normi o klasifikaciji stijenskih masa, s obzirom na mogućnost kopanja (GN-200), stijene ovog kompleksa pripadaju IV, a svježije partije V kategoriji.

Pokrivač

Eluvijalno-deluvijalni (ed) pokrivač nastao je u bliskoj geološkoj prošlosti kao posljedica površinskog raspadanja tvorevina geološkog substrata i djelimičnog spiranja i akumuliranja raspadnutog materijala sa viših dijelova padine u središnjem i nožičnom dijelu padine. U litološkom pogledu, to su gline laporovite, srednje gnječive. Produkt raspadanja lapora je kora raspadanja koja je stvorila pokrivač, trošnu zonu raspadnutog lapora, laporovitu glinu.

Eluvijalno-deluvijalni (ed) pokrivač je najzastupljeniji na rubnom zapadnom padinskom dijelu mikrolokaliteta (geomehaničke bušotine locirane i prikazane situaciono B1, B8, B9), kao i na istočnom dijelu (bušotina B5).

Deluvijalni tip

Deluvijalni nanos (dl) znatne debljine je najzastupljeniji u središnjem dijelu predmetnog lokaliteta. Nastao je spiranjem produkata nastalih uticajem površinskih voda koje se slivaju po padinama. Kretanje ovog tipa pokrivača je izražen u toku obilnih atmosferskih padavina ili topljenju snijega i transportom tih produkata u podnožju padina. Litološki sastav ovog pokrivača čine prašinate gline sa sitnom drobinom, znatne debljine. Deluvijalni pokrivač čini postepen prelaz između padinskih sedimenata i podnožja padine, tako da grade terene sa blažim nagibom do 5°. Ovaj pokrivač odlikuje se sadržajem glina prašinastih i sa veoma malim sadržajem drobine koja je sitna i prilično trošna. Generalno, deluvijalni pokrivač se u pojedinim zonama odlikuje većim sadržajem prirodne vlage, tako da ovaj pokrivač ima promjenljiva geotehnička svojstva po vertikalnom profilu terena. U ovom pokrivaču može se očekivati i pojava podzemne vode koja ima subarteške karakteristike. Prema GN-200, ova vrsta pokrivača pripada III kategoriji.

Nasip (n)

Osim tehnogenih procesa (nekontrolisane eksploatacije sonog ležišta), u središnjem dijelu istraživanog lokaliteta geomehaničkim bušotinama (B3 i B7), utvrđen je sloj neselektovanog nasipa - građevinskog otpada debljine do 2,5 m od površine terena. Nasip se odlikuje promjenljivom debljinom, a formiran je u više faza, pri različitim tehničkim zahvatima u toku ranije izgradnje objekata i prateće infrastrukture na ovom području. Radi se o slabo konsolidovanim materijalima heterogenog sastava, loših geotehničkih karakteristika.

5. SEIZMIČKE KARAKTERISTIKE

Prema važećoj karti mikroseizmičke rejonizacije gradskog područja Tuzla, koju je 1990. godine uradio "Institut za zemljotresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju" iz Skoplja, cijelo urbano područje Tuzle nalazi se u zoni VIII stepena MCS skale (Marcali-Cancani-Sieberg).

Na osnovu lokalnih seizmogeoloških karakteristika terena, zona VIII stepena je podijeljena na odgovarajuće podzone. Istraživana lokacija pripada VIIIc podzoni (tereni izgrađeni od kvartarnih i tercijarnih sedimenata, zahvaćenih procesom slijeganja i deformiranja tla usljed eksploatacije ležišta soli). U ovoj podzoni su definisani seizmički parametri za projektovanje, tako da izgradnju objekata na ovom području treba prilagoditi VIII stepenu MCS skale, vodeći računa o seizmičkim parametrima VIII c podzone i lokalnim geološkim uslovima.

6. TERENSKA I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Na području istraživanja izvršeno je geodetsko snimanje u državnom koordinatnom sistemu razmjere R 1: 250, kao i lociranje i određivanje koordinata i kota geomehaničkih istražnih radova (bušotina).

Nadležne gradske službe zahtijevale su izradu Elaborata podataka procesa slijeganja terena nastalog kao posljedica eksploatacije soli [6] u postupku utvrđivanja mogućnosti, načina, tipa, te definisanja dinamike eventualne izgradnje na ovoj lokaciji. U Elaboratu je izvršena analiza procesa slijeganja na istraživanom lokalitetu (period 30.07.2017.do 12.11.2018.god.) na osnovu oskultacionih repera označenih (R1 do R16) ugrađenih na objektima novije i starije gradnje (Slika 4) sa četiri serije geodetskog praćenja vertikalnih pomaka.

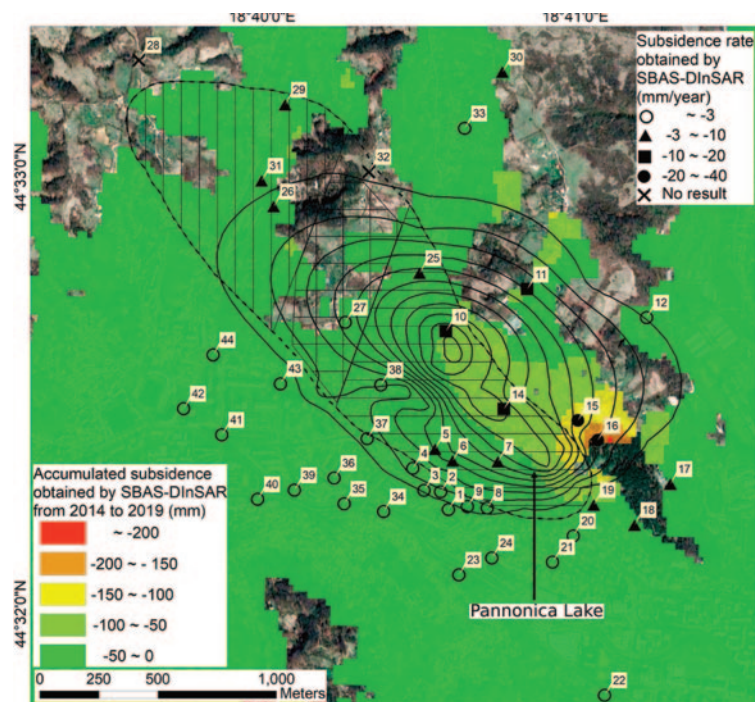


Slika 4. Lijevo: Poligonska tačka AM3 sa trasom pružanja ožiljka okomito na porušeni objekat "Amosa".

Izražene deformacije (orijentacije i nagiba loma u pravcu juga) na nadtemeljnem zidu. Desno:

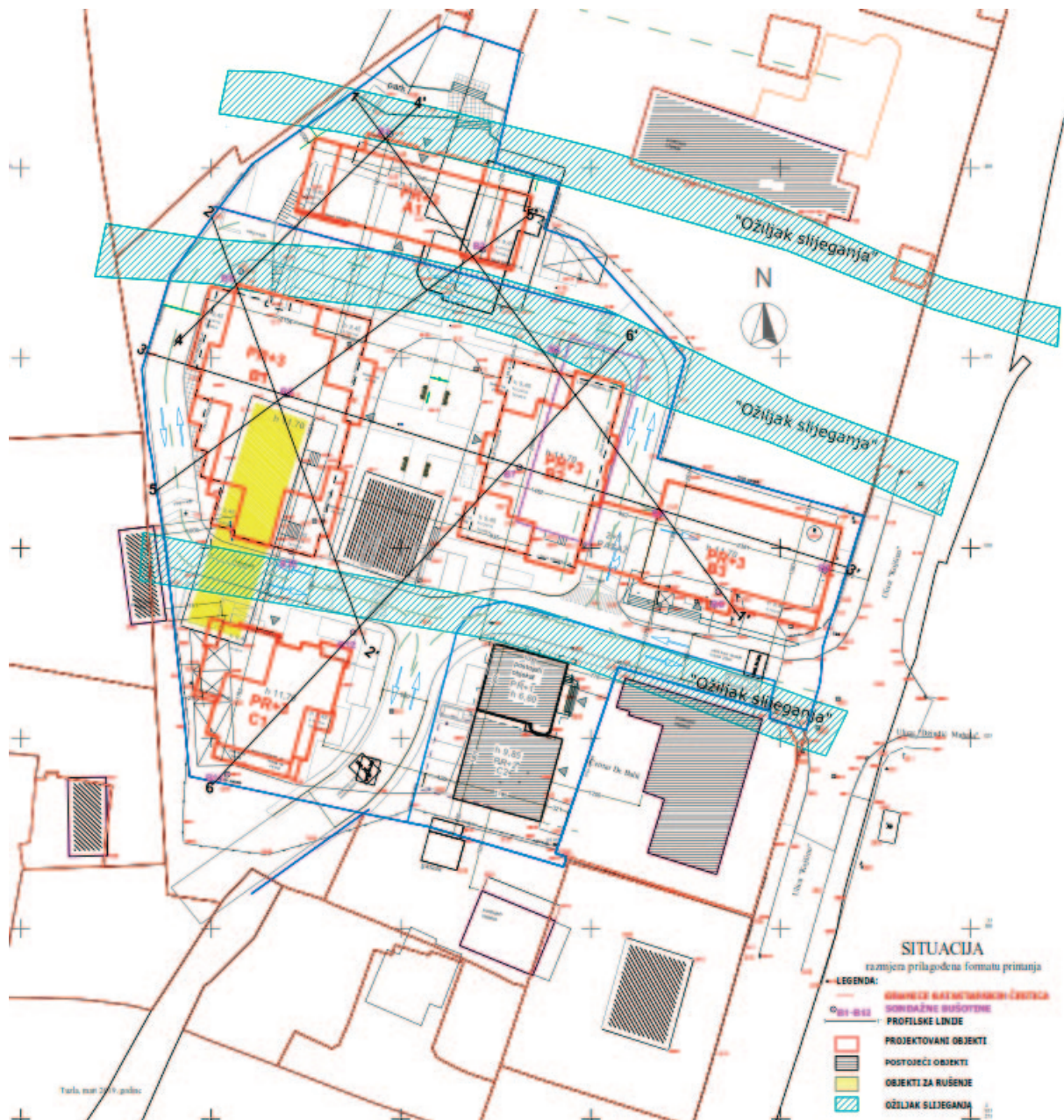
Prikaz ugrađenog repera. "Ožiljci slijeganja" u vidu pukotina u asfaltu sa jasno izraženim elementima: širinom uticaja i pravcem razvlačenja. (Foto J.Čomić).

Nakon provedenog geodetskog monitoringa slijeganja na ovoj lokaciji utvrđen je trend konstantnog smanjenja vrijednosti vertikalnih i horizontalnih pomaka slijeganja, ali i izdizanja pojedinih tačaka, što je odlika dijelova terena koji se nalazi u fazi tzv. konsolidacije. U prilog tome, mjerenja u periodu 2014-2019. godine [7] su pokazala da je slijeganje smanjeno (Slika 5) na vrijednost od oko -3 mm/god. (ispod - 1 mm/god. na većini tačaka).



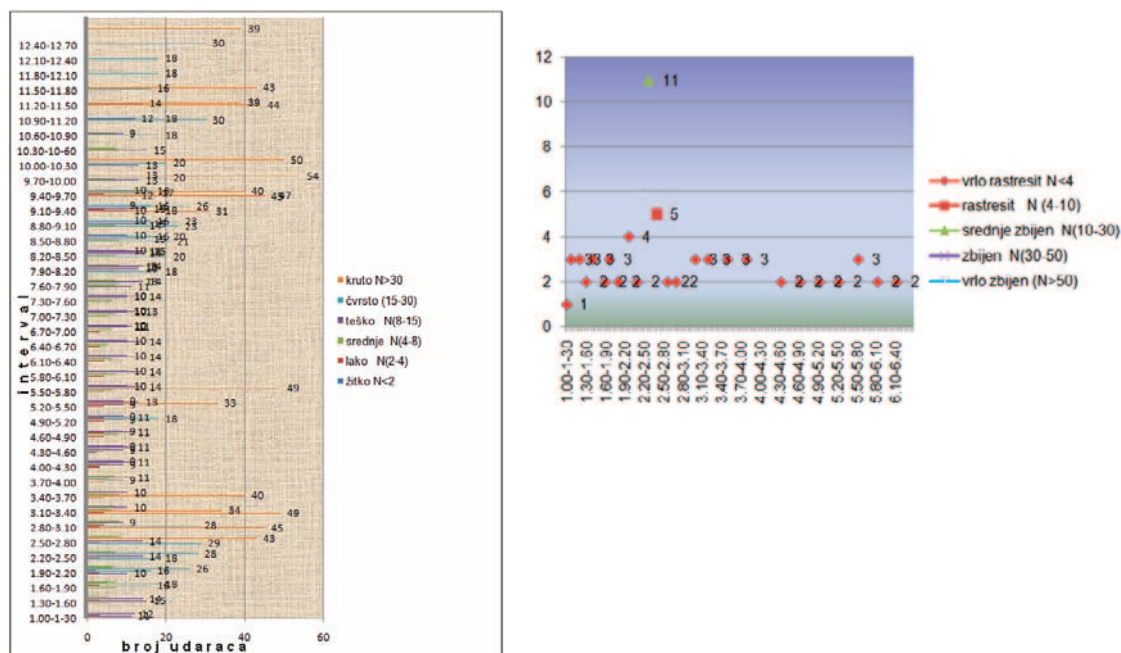
Slika 5. GPS položaj mjernih tačaka. Simboli na mjernim tačkama pokazuju vrijednost slijeganja dobivenu mjerenjima SBAS-DInSAR u period 2014–2019.godine

U cilju definisanja načina i dubine temeljenja objekata, prilagođeno njihovim gabaritima, izvršena su detaljna geomehanička ispitivanja [4], odnosno bušenje dvanaest (12) sondažnih bušotina (slika 6). Obim ispitivanja bio je dovoljan da se profilira tlo ispod planiranih objekata.



Slika 6. Situaciona karta R 1: 250, sa položajem istražnih geomehaničkih bušotina (Razmjera prilagođena formatu štampe).

Rezultati standardnog penetracionog testa interpretirani su uz korištenje poznate korelacione veze između statičke i dinamičke penetracije, te su određeni zbijenost koherentnog i nekoherentnog materijala, kao i modul stišljivosti (slika 7).



Slika 7. Prikaz ("in situ" terenskog ispitivanja) zbirnog standardnog penetracionog testa.

Lijevo: SPP za koherentno tlo (vezano i poluvezano tlo). Desno: (SPT) za nekoherentno tlo (nasip, mulj).

7. KRITERIJUMI NOSIVOSTI I SLIJEGANJA

Uzimajući u obzir činjenicu da se istraživana lokacija nalazi u specifičnom inženjerskogeološkom okruženju, bilo je potrebno ostvariti prvu identifikaciju rizika lokacije, odnosno sagledavanje geotehničkog konteksta terena. Zbog loših fizičko-mehaničkih karakteristika litoloških članova pokrivača u zoni temeljenja, predloženo je korištenje armirano-betonskih šipova različitog prečnika i dužina.

S obzirom na heterogenost litoloških članova, te debljinu kompresibilnog sloja gline i mulja, te visoki nivo podzemne vode, analizirana je dozvoljena nosivost na bušenim šipovima dužine 6,0 m, 12,0 m i 14,0 m koji će biti oslonjeni na sloj geološkog supstrata lapora.

Tabela 1 – Proračun nosivosti šipova

Metoda	Promjer šipa φ600mm (kN)	Promjer šipa φ800mm (kN)	Promjer šipa Φ900mm (kN)	Promjer šipa φ1000mm (kN)
dozvoljena nosivost šipa D = 6,0 m				
<i>Terzaghi</i>	472,33	761,03	930,35	1.116,43
<i>Meyerhof</i>	874,90	1.476,80	1.889,85	2.302,90
<i>Brinch-Hansen</i>	399,40	645,50	789,70	948,00
dozvoljena nosivost šipa D = 12,0 m				
<i>Terzaghi</i>	714,71	1.109,80	1.337,12	1.548,40
<i>Meyerhof</i>	1.065,30	1.878,20	2.370,00	2.919,90
<i>Brinch-Hansen</i>	598,00	996,80	1.010,00	1.495,40
dozvoljena nosivost šipa D = 14,0 m				
<i>Terzaghi</i>	788,65	1.216,20	1.461,21	1.727,16
<i>Meyerhof</i>	1.221,90	2.123,90	2.667,70	3.273,30
<i>Brinch-Hansen</i>	863,00	1.384,90	1.689,70	2.023,90

Razmatrano je temeljenje sa izvršenom zamjenom od šljunčanog materijala i dubokim fundiranjem s ciljem ujednačavanja diferencijalnog slijeganja.

Analizirana je nosivost pojedinačnog šipa opterećenog vertikalnom silom, koji na tlo prenosi opterećenje vertikalnim naponima na bazi šipa i smičućim naponima po površini stabla. Proračuni (tabela 1) su izvršeni po metodu Terzaghi, Meyerhof i Brinch-Hansen, na dubinama 6, 12 i 14 m na promjerima 600, 800, 900 i 1000 mm.

Iz proračuna (Tabela 1) se može zaključiti da metoda po Meyerhof daje visoke vrijednosti i nije reprezentativna za dimenzioniranje šipa u statičkom proračunu.

Nadalje je izvršena analiza temeljenja sa zamjenom materijala sa slojem šljunčanog tampona različite debljine, koji je neophodno zbiti na modul stišljivosti $M_s=60$ MPa, za temeljnu stopu ploče za svaki objekat. Pri zamjeni materijala, potrebno je snižavati nivo podzemne vode.

Tabela 2. Vrijednosti slijeganja

Objekat "A1"				
<ul style="list-style-type: none"> ○ temeljna ploča dimenzije B x L = 18,97 x 29,50 m ○ kota poda prizemlja ± 0,00 = 241,60 m.n.m ○ kota dna temeljne ploče = 240,60 m.n.m ○ kota dna šljunčanog tampona debljine 1,50 m = 239,10 m.n.m 				
Oznaka bušotine	Dozvoljeno opterećenje KNm ⁻²	Debljina tampona (m)	Apsolutna slijeganja (cm)	Diferencijalna slijeganja (cm)
B1	Pravilnik o tehničkim normativima Pa = 393,28		0,00	B-B2 66,361
B2	Metoda Terzaghi Pa = 402,54	1,50	66,361	
Objekat "B1"				
<ul style="list-style-type: none"> ○ temeljna ploča dimenzije B x L = 20,62 x 32,42 m ○ kota poda prizemlja ± 0,00 = 242,15 m.n.m , ○ kota dna temeljne ploče = 241,15 m.n.m ○ kota dna šljunčanog tampona debljine 2,00 i 2,60 m = 239,15 i 238,55 m.n.m 				
Oznaka bušotine	Dozvoljeno opterećenje KNm ⁻²	Debljina tampona (m)	Apsolutna slijeganja (cm)	Diferencijalna slijeganja (cm)
B9	Pravilnik o tehničkim normativima Pa = 416,14		0,00	B9-B8 33,442
B8	Metoda Terzaghi Pa = 432,35	2,00	26,029	B9-B10 66,361
B10		2,60	33,442	B8-B10 7,413
Objekat "B2"				
<ul style="list-style-type: none"> ○ temeljna ploča dimenzije B x L = 16,84 x 24,80 m ○ kota poda prizemlja ± 0,00 = 242,15 m.n.m , ○ kota dna temeljne ploče = 241,15 m.n.m ○ kota dna šljunčanog tampona debljine 3,50 m = 239,15 m.n.m 				
Oznaka bušotine	Dozvoljeno opterećenje KNm ⁻²	Debljina tampona (m)	Apsolutna slijeganja (cm)	Diferencijalna slijeganja (cm)
B3	Pravilnik o tehničkim normativima Pa = 361,38	3,50	52,119	B3-B7 24,155
B7	Metoda Terzaghi Pa = 364,05	3,50	27,946	
Objekat "B3"				
<ul style="list-style-type: none"> ○ temeljna ploča dimenzije B x L = 15,21 x 23,78 m ○ kota poda prizemlja ± 0,00 = 241,70 m.n.m , ○ kota dna temeljne ploče = 240,70 m.n.m ○ kota dna šljunčanog tampona debljine 0,90 m, 2,90 m i 4,50 m = 239,80, 237,80 i 236,20 m.n.m 				
Oznaka bušotine	Dozvoljeno opterećenje KNm ⁻²	Debljina tampona (m)	Apsolutna slijeganja (cm)	Diferencijalna slijeganja (cm)
B4	Pravilnik o tehničkim normativima Pa = 355,33	4,50	27,089	B4-B5 20,577
B5	Metoda Terzaghi Pa = 357,55	0,90	6,512	B6-B5 23,051
B6		2,90	29,563	B6-B4 2,474
Objekat "C1"				
<ul style="list-style-type: none"> ○ temeljna ploča dimenzije B x L = 17,82 x 17,89 m ○ kota poda prizemlja ± 0,00 = 241,75 m.n.m ○ kota dna temeljne ploče = 240,75 m.n.m ○ kota dna šljunčanog tampona debljine 2,40 m = 238,35 m.n.m 				
Oznaka bušotine	Dozvoljeno opterećenje KNm ⁻²	Debljina tampona (m)	Apsolutna slijeganja (cm)	Diferencijalna slijeganja (cm)
B11	Pravilnik o tehničkim normativima Pa = 403,02	2,40	18,639	B11-B12 9,311
B12	Metoda Terzaghi Pa = 467,35		27,975	

Prema izvršenim proračunima, a u skladu sa normativima, zadovoljen je kriterijum loma tla na svim planiranim objektima, jer je dozvoljeno opterećenje tla veće od usvojenog specifičnog opterećenja od objekta $\sigma = 170 \text{ KNm}^{-2}$.

Kriterijum slijeganja nije zadovoljen niti za jedan objekat. U skladu sa izvedenim proračunima i usvojenim parametrima (Tabela 2), dobivene su sljedeće vrijednosti slijeganja za svaki od objekata:

8. ZAKLJUČAK

Provedena istraživanja imala su za cilj definisanje temeljenja objekata različitih gabarita na lokaciji koja se nalazi u zoni slijeganja terena nastaloj kao posljedica eksploatacije soli, kao i u tzv. Zoni ožiljaka slijeganja, koja je i u prethodnom periodu bila degradirana procesom slijeganja.

Razmatrane su geološke, inženjerskogeološke, hidrogeološke i geotehničke karakteristike istraživanog područja, kao i analize detaljnog geodetskog monitoringa. Istraživanja su obuhvatila izradu dvanaest geomehaničkih bušotina sa izvođenjem kontinuiranog penetracionog testa, terenska i laboratorijska ispitivanja istraživane lokacije, te geotehničke proračune sa definisanjem uslova temeljenja za svaki planirani objekat. Istražni radovi i laboratorijska ispitivanja uzoraka su omogućili izbor ulaznih parametara za dalju analizu nosivosti i slijeganja tla.

Na osnovu litoloških i fizičko-mehaničkih karakteristika temeljnog tla, kao i utvrđenog nivoa podzemne vode, predložen je kombinovani način temeljenja. Uzimajući u obzir dozvoljenu nosivost i slijeganja temeljnog tla od sopstvenog i dodatnog opterećenja, dat je i prijedlog načina poboljšanja nosivosti temeljnog tla. S tim u vezi, tehnologija i odabir načina temeljenja mora biti definisan statičkim proračunima u sklopu Glavnog projekta.

LITERATURA

- [1] I. Soklić (1964): Postanak i struktura Tuzlanskog basena. Geološki glasnik br.10. Sarajevo.
- [2] S. Čičić, Č.Jovanović, M.Mojićević, S.Tokić (1991): Tumač za list "Tuzla" OGK SFRJ 1:100 000. Savezni geološki zavod Beograd.
- [3] S. Čičić, Č.Jovanović, M.Mojićević, S.Tokić, P.Dimitrov (1991): Osnovna geološka karta list "Tuzla" 1:100 000. Savezni geološki zavod Beograd.
- [4] J. Čomić (2019): Elaborat o geomehaničkim ispitivanjima za potrebe izgradnje apartmanskog naselja "SLANA OAZA" na parceli k.č. br. 256/4, 256/10, 256/11, K.O. Tuzla I
- [5] Zavod za urbanizam Grada Tuzle: Prostorni plan Grada Tuzla za period 2010-2030 - Studijski separat Zoniranje terena po stepenu konsolidacije za potrebe urbanizacije za period 2012-2015.-2020., 2020-2026. za područje pod uticajem eksploatacije soli u gradu Tuzli
- [6] "Zedis", d.o.o. Zenica (2018): Elaborat podataka procesa slijeganja terena nastalog kao posljedica eksploatacije soli na lokaciji k.č. 256/4, 256/10 i 256/11, K.O. Tuzla I
- [7] I. N. S. Parwata, N. Shimizu, B. Grujić, S. Zekan, R. Čeliković, E. Imamović & I. Vrkljan (2020): Monitoring the Subsidence Induced by Salt Mining in Tuzla, Bosnia and Herzegovina by SBAS-DInSAR Method. Springer. Rock Mechanics and Rock Engineering. Published online. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02212-1>

MOGUĆNOST ALTERNATIVNE PRIMJENE UGLJEVA KREKANSKOG BAZENA

Nedžad Alić¹

SAŽETAK

Težnja ukidanja, dobivanja toplote iz uglja u cilju smanjenja onečišćenja atmosfere, vodi ka zatvaranju ležišta uglja. Alternativa za dobivanje toplote, posebno u kategoriji zagrijavanja manjih stambenih objekata, drvenim peletima, iako s ekološkog aspekta prihvatljiva, ima i svojih nedostataka, ukoliko se u obzir uzme razmjera potrebne količine energije i uloga šume u prečišćavanju vazduha. S tim u vezi, u radu je, na određenoj količini uzoraka, istraživana mogućnost dobivanja energije iz mješavine ova dva energenta : uglja i drveta, te uticaj na okoliš s aspekta učešća sumpora tako dobivenih proizvoda. Mješavina je podvrgnuta procesu briketiranja, a dobiveni uzorci su ispitani sa mjerodavnim parametrima prije svega dobivene gornje toplotne vrijednosti i sadržaja sumpora u ovim produktima.

Dobiveni rezultati su itekako optimistični s oba naprijed navedena parametra i mogu biti putokaz za dalja istraživanja za ovako postavljenu ideju.

Ključne riječi: ugalj, drvena piljevina, briket, toplotna vrijednost, ekologija

1. UVOD

Zagađenost okoliša, posebno vazduha, i uticaj na norme održavanja života na planeti sve više, u naučnoj i društvenoj zajednici ljudi, zauzima primarni cilj usled narušavanja prirodne ravnoteže, koja se odražava kroz niz pokazatelja. Posledice naglog razvoja različitih procesnih industrija i nametanja načina života kroz sintagmu „potrošačko društvo“, jasno su vidljive kroz raličite makro i mikro uticaje, počevši od klimatskih poremećaja pa nadalje. Značajno učešće u navedenom, doprinijelo je i rudarstvo povećanom eksploatacijom energetskih i drugih mineralnih sirovina. Posebnu ulogu u tome čine i fosilna goriva za koje se tvrdi da su jedan od najvažnijih resursa koji utiču na enormno zagađenje i globalne promjene životnih uslova na planeti. Poseban uticaj iz ove kategorije energenata na okoliš imaju ugljevi i njihovo korištenje kao energenata. U novije vrijeme se pokušava naći alternativa ovom energentu, te su pokrenuta različita istraživanja korištenja drugih energetskih mogućnosti i razvoja, za te namjene, prihvatljivih tehnologija. Uspješnost pojedinih novih alternativnih i s aspekta ekologije prihvatljivih energetskih izvora je za sve ljudske potrebe vrlo šarolika. Jedna od značajnih karakteristika modernog života jeste i komfor stanovanja koji podrazumijeva i određene norme zagrijavanja prostora u kome se živi. Stanovanje se vrši u kolektivnim i zasebnim jedinicama u urbanim ili ruralnim sredinama. Problem uvođenja novih izvora energije, s ovog aspekta, je vezan za pojedinačne stambene jedinice koje je jako teško snabdijevati energijom, zbog distributivnih mreža ili nekog drugog razloga, a u isto vrijeme s ekonomskog aspekta vrlo je teško primjenjivati alternativne izvore energije na ovim pojedinačnim objektima. Najčešće rješenje koje se nudi kao zamjena uglju u naprijed navedenoj kategoriji jeste bio masa, ponajprije drvo ili njegov pelet kao dorađeni energetski proizvod. Iako ova masa pri sagorijevanju ima značajnije smanjenje emisije primarnih plinova koji utiču na smanjenje zagađenosti zraka, treba voditi računa o činjenici da se primarno

¹ Prof. Nedžad Alić, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla, BiH,
nedžad.alic@untz.ba.

poboljšanje posledično i dugoročno može imati sasvim drugi rezultat. Naime, pretjerana eksploatacija drvene građe smanjuje ukupnu količinu šumskog bogastva koje pak predstavlja prirodni „filter“ zraka, pa se za šumu kaže da je pluća Zemlje. Dakle ovako postavljena hipoteza zamjene vrste energenta, ne daje sigurnost u dobivanju dobrog rezultata. Ovo istraživanje nema za cilj ustanovljenje argumenata naprijed navedenog stava, već inicijalno istraživanje alternativnog rješavanja energenta u naprijed navedene svrhe s akcentom uticaja sagorijevanja na ekologiju.

Istraživanje mogućnosti proizvodnje ekoloških peleta na bazi lignita iz ležišta uglja Kreka je u osnovi poboljšanje iskorištenosti energije koja se dobiva u tekućoj proizvodnji u istoimenom rudniku. Osnov za istraživanje leži na bazi značajne razlike podataka : geološkog istraživanja kvaliteta uglja i svakodnevnog laboratorijskog praćenja osnovnih parametara i to donje toplotne vrijednosti, vlage i pepela. S druge strane kvaliteta uglja s aspekta sadržaja sumpora je takav da zadovoljava standarde u EU, čime ovaj ugalj čini pogodnim energentom sa okolinskog aspekta. Ako se tome doda činjenica da se u BiH proizvodi značajna količina ostataka kroz preradu u drvenoj industriji, kao i da se značajna količina ovih ostataka ne koristi, proističe da su osnovni preduslovi za mogućnost proizvodnje peleta za manje toplotne jedinice realne. Naprijed navedeno upućuje na zaključak da istraživanje ima utemeljenu osnovu.

Istraživanje podrazumijeva primjenu naučnih i stručnih znanja iz ove oblasti uz obaveznu laboratorijsku pretragu svakog navoda tj. parametra bitnog za postizanje primarnog cilja. Istraživanje mogućnosti proizvodnje peleta od uglja iz ležišta lignita Kreka ima za cilj povećati koeficijent iskorištenja energije i smanjenje efekata sagorijevanja na okoliš. Za razliku od dosadašnjih istraživanja ideja je da se određenim klasama uglja u fazi peletiranja (ili briketiranja) dodaje drvena strugotina nastala kao nus proizvod u preradi drveta ili kao neiskorišteni ostatak u „sječi“ drveta.

Programski zadatak istraživanja je odrediti:

- mogućnosti dobivanja peleta ili briketa sa istraživanjem receptura,
- istraživanje tehnologije aglomeriranja ove mješavine,
- utvrđivanje ključnih parametara proizvoda i to toplotne vrijednosti i štetnosti za okoliš preko sadržaja sumpora u uglju i dobivenom aglomeratu.

Očekivani rezultati će za istu pojedinačnu masu energenta dati veću količinu energije čime se vrši efikasnije korištenje neobnovljivih izvora energije. Ukupna emisija štetnih gasova u atmosferu će se smanjiti i to iz dva razloga: efikasnijeg sagorijevanja i manje količine utrošenog energenta za istu jedinicu energije.

2. METODE ISTRAŽIVANJA

Metode odnosno model istraživanja postavljen je na sljedećem principu:

- određivanje karakterističnih ili reprezentativnih (ključnih) pokazatelja u istraživanju;
- određivanje metoda procesuiranja uzoraka i to:
 - a. način pripreme uzoraka za opite,
 - b. odabir metoda laboratorijskih ispitivanja,
- interpretacija i obrada rezultata istraživanja
- zaključak istraživanja.

2.1. REPREZENTATIVNI POKAZATELJI ISTRAŽIVANJA

Osnovni faktori koji definišu kvalitetu energetske sirovine su količina raspoložive i oslobođene energije i produkti sagorijevanja s aspekta onečišćenja ili opasnosti za okoliš. Kada je u pitanju ugalj u osnovi se prvi aspekt definiše kroz uvrđivanje: gornje (GTV, Q_g) i/ili donje toplotne vrijednosti (DTV, Q_d). GTV je količina toplote koja se oslobodi pri potpunom sagorijevanju 1 kg goriva, pri čemu se ukupna količina vlage pri obračunu uzima u tečnom stanju (kondezovana), a njena vrijednost se određuje laboratorijski u kalorimetru [1, 5, 10]. Za razliku od ove, DTV vrijednost se računa pod uvjetom da je sva vlaga u produktima sagorijevanja u vidu vodene pare. Dakle DTV se dobiva proračunom iz dobivene vrijednosti GTV prema sljedećem obrascu [10]:

$$Q_d = Q_g - 25(w-9H), (kJ/kg)$$

Gdje je:

- Q_d - donja toplotna vrijednost, kJ/kg,
- Q_g - gornja toplotna vrijednost, kJ/kg,
- w - sadržaj vlage u uzorku, (%),
- H - sadržaj vodonika u uzorku goriva, (%).

Pokazatelji produkata sagorijevanja uglja se ogledaju kroz emisiju plinova i to : CO_x, NO_x i sumpornih jedinjenja, te količine i vrste čvrstih čestica u obliku pepela. Na vrijednost ovih faktora uticaj imaju sadržaj hemijskih jedinjenja u uglju, sadržaj vlage i uslovi gorenja. S ovog aspekta je kao reprezentativni pokazatelj istraživanja određen sadržaj sumpora u uglju i dobivenim uzorcima peleta [3, 5, 7,11].

U ovim ispitivanjima, od mjerodavnih parametara istraživanja, ispitani su samo rezultati koji govore o dijelu kvalitativnih pokazatelja dobivenih peleta, a to su [1, 10] :

- gornja i donja toplotna vrijednost dobivenih peleta (GTV i DTV),
- ukupna vlaga,
- sadržaj pepela, sagorljivih i isparljivih materija,
- sadržaj koksa i C-fix,
- sadržaj sumpora (sagorivi, nesagorivi i ukupni).

2.2. METODE ISPITIVANJA

2.2.1. Uzorak i njegova priprema za ispitivanje

U g a l j

Osnovni materijal koji je korišten u istraživanju je ugalj klase krupnoće 0/40 mm. Ugalj je uzorkovan u tehnološkom lancu proizvodnje na površinskom kopu Dubrave RU Kreka Tuzla. Zadatak pri uzimanju uzorka je bio, da se izabere onaj koji ima ispod prosječnu kvalitetu uglja iz ovog ležišta. Ova vrijednost za odabrane mjerodavne parametre, u ovom istraživanju, dobivena je statističkom obradom dvogodišnje proizvodnje na ovom kopu. Za statističku analizu uzete su 2011, 2012 i 2013 godina, a korišteni su rezultati dobiveni u laboratoriji RU Kreka. Analiza prosječnog kvaliteta izvršena je na 9350 laboratorijska testa tj. rezultata. Ovako definisan uzorak uzet u količini od 50 kg (PK Dubrave, lokacija: I krovni sloj, miješani 0-40 mm), je laboratorijski obrađen i podijeljen u dvije zasebne, po masi indentične količine.

Drvena piljevina

U osnovi ideje za ovo istraživanje je predviđeno korištenje drvnih ostataka iz industrije prerade ovog materijala. Za ova, preliminarna istraživanja, korištena je drvena piljevina kao ostatak u proizvodnji drvne građe porijeklom od jelovog drveta. S obzirom da se radi o preliminarnim istraživanjima nije urađena detaljna laboratorijska analiza ovog materijala.

Vezivno sredstvo

Dobivanje peleta putem peletizatora i ekstrudera, skoro po pravilu zahtijeva neku vrstu vezivnog sredstva, koje će obezbijediti uslove čuvanja dobivenih oblika peleta. Iz ovog pravila se mogu izuzeti isključivo one vrste materijala koje u svojoj suštini same predstavljaju vezivna sredstva. S obzirom da su ranija istraživanja pokazala da se huminske kiseline sadržane u lignitu ovog ležišta ponašaju i kao moguće vezivno sredstvo te da se u nekoj mjeri lignini i smole iz drvne građe takođe odlikuju ovom karakteristikom za očekivati je i mogućnost dobivanja u ovako koncipiranoj tehnologiji aglomeriranja ove mješavine briketa, bez upotrebe dodatne smjese veziva. Međutim, s obzirom na cilj ovog rada, prethodna mogućnost nije istraživana. S tim u vezi peleti su rađeni uz upotrebu dodatnog veziva u njihovoj proizvodnji. Pored ove potrebe za korištenje vezivnog sredstva, cilj je bio da ono nema ili nikakvog uticaja na kvalitativno svojstvo peleta (GTV, DTV, sadržaj sumpora i sl.), ili bar da se taj uticaj svede na minimum, kako bi u zaključivanju o dobivenim rezultatima, akcenat bio na osnovne materijale korištene u ovim probama. S tog aspekta najpovoljniji oblik vezivnog sredstva je suspenzija dobivena od škrobnog veziva proizvođača Helios, Domžale, R. Slovenija. U svim probama korištena je 10 % koncentracija škroba u vodi.

2.2.2. Laboratorijske procedure (ispitivanja)

Metodologija laboratorijskih istraživanja, posledično spram postavljenog cilja istraživanja, je imala dvije zasebne cjeline. Prva od njih je podrazumijevala izvođenje niza operacija u pripremi i spravljanju peleta ili briketa – uzoraka, a druga utvrđivanje mjerodavnih parametara na dobivenim uzorcima. Dakle u prvoj fazi laboratorijskih procedura su izvedene slijedeće operacije :

- utvrđivanje karakteristika uzoraka komponenti sa spravljanje peleta (vlažnosti i granulometrijskog sastava uglja i drvne piljevine),
- priprema uzorka usitnjavanjem na potrebnu granulaciju za izabranu metodu aglomeriranja [2].
- izrada receptura aglomerata,
- homogeniziranje sastavnih izgrađivača peleta i
- izrada aglomerata za različite recepture u laboratorijskim uređajima.

U drugu skupinu tj. mjerni dio laboratorijskih procedura su izvedeni sljedeći postupci [8, 9, 10]:

- utvrđivanje vlažnosti peleta,
- utvrđivanje vezanog sagorljivog i ukupnog sumpora,
- utvrđivanje GTV dobivenih peleta u kalorimetru,
- utvrđivanje sadržaja pepela, koksnog ostatka, isprljivih i sagorivih materija.
- Ispitivanja parametara iz ove skupine su vršena po našim trenutno važećim standardima u laboratoriji RU Kreka iz Tuzle (BiH).

2.2.3. Procedura spravljanja aglomerata u ovom istraživanju

Za aglomeriranje rasutih, zrnastih materijala (mineralnih sirovina), mogućnost se ogleda u primjeni više uređaja tj. modela izrade aglomerata, a u ovom istraživanju su izdvojena dva načina. Jedan je u tanjurastom peletizatoru, koji u osnovi daje, po stručnoj definiciji proizvod koji se definiše pojmom, pelet. Drugi je u suštini ekstruder koji daje proizvod koji u trgovačkom smislu ima naziv pelet, ali u stručnom, on ima, prije svega, odlike briketa, jer se njegovo dobivanje prvenstveno vrši presanjem [8, 9]. Tehnološki zahtjevniji način dobivanja peleta jeste u tanjurastom peletizatoru. Iz tog razloga je istraživanje za sve dobivene pelete urađeno u laboratorijskom ekstruderu uz iste parametre uređaja za sve brikete, čime bi se uticaj na pojedine dobivene rezultate u smislu manje promjenjivih veličina ograničio. Miješanje uglja i piljevine u homogenu smjesu je izvedeno na nači da su iz dva zasebna vibrodozatora dodavane pojedinačne količine, a zatim su u tanjirastom peletizatoru stavljene u kružnu putanju uz istovremeno dodavanje vezivne supstance u predviđenoj količini, čime se sprečavala segregacija zrna jednih od drugih. Ovako pripremljena masa se direktno dozirala u laboratorijski ekstruder. Nakon toga je vršeno sušenje briketa do određene količine vlage, te je vršena analiza naprijed navedenih parametara. Uporedo je za iste uslove recepture urađena i određena količina peleta u tanjirastom peletizatoru. Svrha ovog dijela istraživanja je utvrđivanje karakteristika proizvodnje peleta na ovom uređaju te uporedna analiza strukture dobivenih aglomerata u dvije različite metodologije sa identičnim recepturama.

2.2.4. Receptura

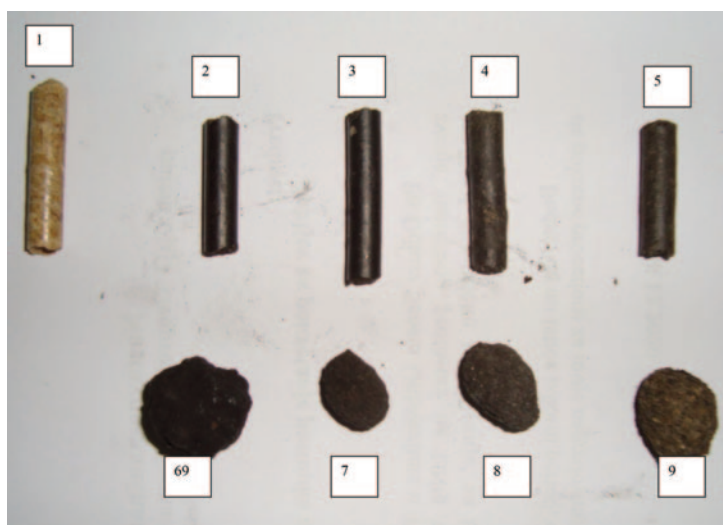
Sa ovog aspekta cilj je bio, pretpostavka karakterističnih odnosa između materijala koji je osnov za proizvodnju aglomerata, s naglašenim akcentom na ugalj, pa je s tog gledišta receptura u suštini samo orijentaciona veličina nužna za dobivanje područja mogućnosti kvalitetnih parametara dobivenih peleta.

Na osnovu toga je proizveden pelet sa slijedećim odnosom osnovnih materijala :

- uzorak 0 : uzorak uglja,
- uzorak 1 : ugalj : piljevina = 60 % : 40 %,
- uzorak 2 : ugalj : piljevina = 40 % : 60 %,
- uzorak 3 : ugalj : piljevina = 80 % : 20 %,
- uzorak 4 : ugalj : piljevina = 100 % : 0 %.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Dobiveni briketi i peleti po naprijed navedenim uslovima su prikazani na narednoj slici.



Slika 1. Izgled dobivenih peleta i briketa :

1. drveni briket ; 2. briket uzorka 1.; 3. briket uzorka 2.; 4. briket uzorka 3.; 5. briket uzorka 4. ;
6. pelet uzorka 1.; 7. pelet uzorka 2. ; 8. pelet uzorka 3. i 9. pelet uzorka 4.

Za naprijed ustanovljene mjerodavne i reprezentivne pokazatelje istraživanja dobiveni rezultati su dati u tabeli 1. Pokazatelji uzorka uglja dati su u tabeli 1.

Analitički podaci		Uzorak uglja	Uzorak briket 1.	Uzorak briket 2.	Uzorak briket 3.	Uzorak briket 4.
Ukupna vlaga	%	25,66	6,30	7,69	5,73	5,73
Pepeo	%	39,12	16,41	22,14	30,55	39,73
Isparljive mat.	%	21,96	58,40	45,78	46,63	34,87
Sagorljive mat.	%	35,22	77,29	70,17	63,72	54,54
C-fix	%	13,26	18,89	24,39	17,09	19,67
Koks	%	52,38	35,30	46,53	47,64	59,40
Sumpor sagorljivi	%	0,38	0,10	0,40	0,49	0,56
Sumpor vezani	%	0,25	0,44	0,38	0,42	0,42
Sumpor ukupni	%	0,63	0,54	0,78	0,91	0,98
G.T.V. kJ/kg		8.349	16.249	16.541	14.607	13.388
D.T.V. kJ/kg		7.161	15.413	15.671	13.785	12.566

Tabela 1. Rezultati reprezentivni i mjerodavni pokazatelja istraživanja

4. DISKUSIJA DOBIVENIH REZULTATA

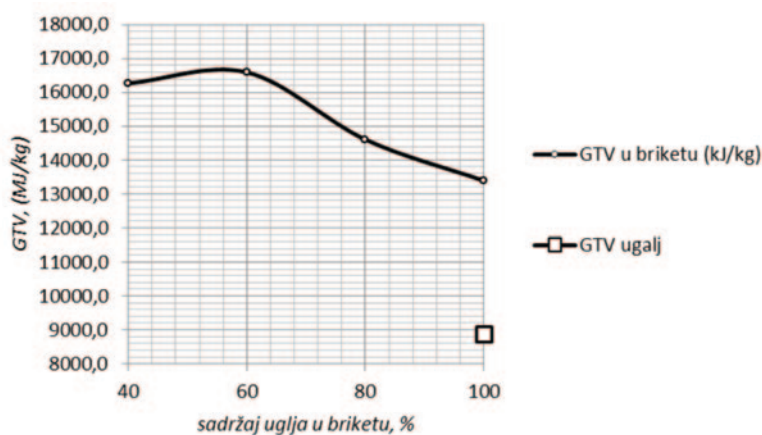
Kao provjeru pretpostavljene ideje izvršena su preliminarna istraživanja u kojima su za osnovu uzete proizvoljne vrijednosti mješavine, a rezultati tih proba su akcentirani na gornju toplotnu vrijednost, te sadržaj sumpora laboratorijskim uzorcima. Dobiveni rezultati ukazuju na značajan potencijal ovog goriva u svrhu obezbjeđenja toplinske energije za male potrošače i dr.

Prema ovim rezultatima (tabela 1) vidljiv je značajan rast toplotne vrijednosti briketa u odnosu na početnu vrijednost uglja. Rast toplotne vrijednosti u briketu je vezan za smanjenje količine prisutne vlage, kao i činjenice da se putem briketiranja povećava učešće sagorive mase u jedinici energenta. Ovaj uticaj vlage, u odnosu na vrijednosti iz tabele 1., se može približno preračunati, te svođenjem vlage na istu količinu (5,73 %) , u tabeli 2. se daju vrijednosti ostalih pokazatelja.

Tabela 2. Preračunate vrijednosti mjerodavnih parametara pri istoj vlažnosti

Uzorak	Sumpor, %	GTV, kJ/kg	Pepeo, %	Vlaga, %	Sagorljive mat., %
Drveni briket	0	16660,3	0,7	5,73	93,6
4	0,98	13388,0	39,73	5,73	54,5
3	0,91	14607,0	30,55	5,73	63,7
2	0,78	16593,1	22,61	5,73	71,7
1	0,54	16264,2	16,51	5,73	77,8
0	0,80	8879,1	49,61	5,73	44,7

Iz dobivenih podataka jasno se uočava rast toplotne vrijednosti putem briketiranja koja se može direktno vezati za povećanje sagorive mase u jedinici briketa. U isto vrijeme uz konstantnu masu se putem presovanja u briketiranju smanjuje i učešće pepela. Rast toplotne vrijednosti u zavisnosti od količine ugljene supstance u briketu ima anomaliju, što je vidljivo na slijedećem grafičkom prikazu.

**Slika 2.** Zavisnost toplotne vrijednosti od sadržaja uglja u briketu

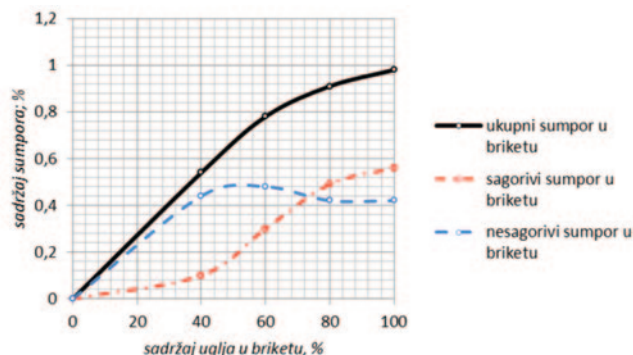
Dobiveni rezultati daju nedovoljnu količinu informacija za tačnu detekciju uočene anomalije, ali su vrlo interesantni i treba im posvetiti pažnju u narednim istraživanjima. Međutim, uzimajući u obzir cilj istraživanja jasno je da se metodologijom briketiranja uglja uz dodatak drvene piljevine itekako i višestruko povećava toplotna vrijednost uglja kao energenta.

Posmatrajmo sada rezultate ispitivanja sadržaja sumpora u dobivenim briketima, uključujući i podjelu sumpora na sagorivi i nesagorivi, svedenih na istu količinu vlage istim principom [11], kako je to rađeno u proračunu prezentiranom u tabeli 3. Vrijednosti sadržaja sumpora su dati u tabeli 4.

Tabela 3. Preračunati sadržaj sumpora u uzorcima

Uzorak	$S_{sag.}$, %	$S_{nes.}$, %	$S_{uk'}$, %
Drvni briket	0	0	0
0	0,48	0,32	0,80
4	0,56	0,42	0,98
3	0,49	0,42	0,91
2	0,30	0,48	0,78
1	0,10	0,44	0,54

Na slijedećoj slici dat je dijagramski prikaz zavisnosti procentualnog učeća ugljene mase prema sumpru u dobivenim briketima.



Slika 3. Sadržaj sumpora u zavisnosti od učešća ugljene mase u briketu

Iz dijagrama se jasno očituje da se sa smanjenjem procentualnog učešća uglja smanjuje i ukupna količina sumora u istim, što je normalno. Također se uočava da se sa smanjenjem ugljene supstance smanjuje i količina sagorivog sumpora. Interesantna je pojava za količine nesagorivog sumpora u briketima, ali se može obrazložiti na način da se izanalizira maseno učešće pepela i njegovu varijaciju za ove različite odnose uglja i piljevine. Naravno to podrazumijeva opravdanu detaljniju analizu, ali s obzirom da je cilj ustanoviti ekološki aspekt upotrebe ovako dobivene mješavine energenta s aspekta učešća sumpora u njemu, treba sagledati koliko je učešće sumpora po jedinici dobivene energije u briketima. U sagledavanju ovog aspekta sagledan je odnos vrijednosti procentualnih udjela : sagorivog (X_i), nesagorivog (Y_i) i ukupnog sumpora (Z_i) u uglju i briketima sa jedinicom dobivene toplotne energije prema slijedećim odnosima:

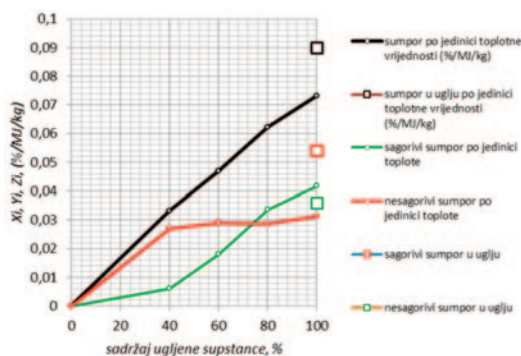
$$X_i = \frac{S_{sag}}{GTV} \left[\frac{\%}{MJ/kg} \right] \quad Y_i = \frac{S_{nes}}{GTV} \left[\frac{\%}{MJ/kg} \right] \quad Z_i = \frac{S_{uk}}{GTV} \left[\frac{\%}{MJ/kg} \right]$$

Rezultati ovog proračuna su dati u slijedećoj tabeli.

Tabela 5. Rezultati udjela sumpora po jedinici dobivene toplote

Uzorak broj	S_{sag} , %	S_{nes} , %	S_{uk} , %	GTV, MJ/kg	X_i , (%/MJ/kg)	Y_i , (%/MJ/kg)	Z_i , (%/MJ/kg)
Drveni briket	0	0	0	16,660	0	0	0
1	0,10	0,44	0,54	16,264	0,033	0,0061	0,027
2	0,30	0,48	0,78	16,593	0,047	0,0180	0,029
3	0,49	0,42	0,91	14,607	0,062	0,0337	0,029
4	0,56	0,42	0,98	13,388	0,073	0,0418	0,031
0	0,48	0,32	0,80	8,879	0,090	0,0541	0,036

Jasnije sagledavanje ovih dobivenih rezultata se može vidjeti iz dijagrama koji je dat na slijedećoj slici.



Slika 6. Udjeli sumpora u uglju i briketima

Dakle tendencija smanjenja sumpora u svim njegovim oblicima je očekivana i jasno izražena sa smanjenjem ugljene mase u briketi.

5. ZAKLJUČCI

U ovom provedenom istraživanju jasno su dokazane slijedeće tvrdnje :

Samom metodom briketiranja uglja raste GTV i u isto vrijeme se smanjuje sadržaj sumpora po oslobođenoj količini toplote,

Dodatkom drvene piljevine uglju i briketiranjem ovakve smjese, porast oslobođene količine toplote je značajna i svoj maksimum dobiva pri vrijednostima približno podjednakog učešća ove dvije materije.

Pri ovome dolazi do značajnog smanjenja udjela sumpora u samim proizvodima prema prezentiranim vrijednostima u ovom radu,

Istraživanja u provedena na uzorku uglja sa značajno lošijim karakteristikama od prosječnog kvaliteta u ovom ležištu. To nadalje upućuje na stav da bi se povećanje količine oslobođene toplote u ovoj mješavini imalo značajnije vrijednosti kada bi se uzeo ugalj sa boljim karakteristikama, prije svega sa povoljnijim odnosom sagorivih i nesagorivih materija u njemu.

Iako je težnja u potpunosti ukinuti dobivanje energije iz uglja, zbog značajne količine štetnih materija u produktima sagorijevanja, ostaje pitanje za pojedine oblasti, kao što su domaćinstva, realnih zamjenjivih izvora toplote. Vrlo često spominjana alternativa i u posledenje vrijeme jako prisutna u supstituciji uglja drvenim peletima (energentom) za ovu namjenu, je sa aspekta dobivanja čiste energije adekvatno rješenje. Međutim značajna količina primjene ove vrste energije znatno utiče i na smanjenje drvnog fonda (šume), koja je pak prirodni regeneratorski onečišćenja ne samo vazduha. U tom smislu proizvodnja energenta sa mješavinom uglja i drvene piljevine se čini kao trenutno interesantno rješenje.

LITERATURA

1. A. M. Goden : Principi pripreme mineralnih sirovina za dalju preradu, (prevod) Beograd, 1950;
2. Alić N., Šišić I., Softić A.: Usitnjavanje u pripremi mineralnih sirovina, Tuzla, 2020.
3. Alić N., Gutić S., Softić A : Influence of coal grinding to tehcnical water refinement (purification) in the Coal Mine „Banovici“, str. 139-147, Tehnic technologies education management, DRUNPP; Sarajevo 2010;
4. Artjušin S. P. : Obogaćivanje ugljena, Moskva, 1975;
5. Gluščenko I. M., : Teoretske osnove tehnologije čvrstih gorivih minerala. Kijev, 1980;
6. Draškić, D.: Industrijska primena pripreme mineralnih sirovina, Beograd, 1975.
7. Fomenko, T.G; Butoveckij, V.C; Pogarceva, E.M. : Tehnologija obogaćivanja uglja, Nedra Moskva, 1985;
8. Petrović M.: Priprema mineralnih sirovina - Osnovi aglomeriranja, Printcom, Tuzla, 2008;
9. Krohin, V.N. : Briketiranje uglja, Nedra Moskva, 1984;
10. Tomanec R., A.: Metode ispitivanja mineralnih sirovina u pripremi mineralnih sirovina, Rudarsko 11. Geološki fakultet u Beogradu, 2000;
12. Toročešnikov N. S. i dr.: Tehnika zaštite okružujuće sredine. Moskva, 1981

OŠTEĆENJA DLIJETA PRI IZRADI MINSKIH BUŠOTINA NA PK "DUBOKI POTOK"

Adnan Hodžić¹, Sanel Nuhanović², Muhidin Brčaninović³, Muamer Muratović⁴

SAŽETAK

Preduzeće INGRAM d.d. Srebrenik, tehnologijom izrade minskih bušotina i miniranjem na PK "Duboki potok", eksploatiše kameni agregat - krečnjak. Za izradu minskih bušotina koriste se tri bušaće garniture firme "Atlas Copco", i to: ROC 301, ROC 406 i ROC F6.

U ovom radu analizirani su uslovi "eksploatacije" bušaćeg dlijeta, vijek trajanja dlijeta, uzroci prekomjernog trošenja zubi dlijeta, kao i njihov gubitak iz ležišta (utora) u koje su ugrađeni, praćeno djelimičnim oštećenjem matrice dlijeta, do čega dolazi na dnu bušotine.

Analiziran je uticaj osnovnih parametara bušenja i uticaj fizičko-mehaničkih svojstava radne sredine na mehaničku brzinu bušenja, odnosno na trošenje i gubitak reznih struktura (zubi) dlijeta na bušaćoj garnituri AC ROC F6, sa ciljem pronalaženja i definisanja njihove međusobne povezanosti, te otklanjanja uzroka navedenih problema u budućim radovima na izradi minskih bušotina na ovom ležištu krečnjaka.

Ključne riječi: bušenje, bušaće dlijeto, gubitak zubi dlijeta, geološki uslovi, režim bušenja

1. UVOD

U početku (1961. godine) asortiman PK "Duboki potok" je bio baziran na proizvodnji kamena tucanika, neophodnog za izgradnju i održavanje željezničke i putne infrastrukture na opštini Srebrenik i šire, da bi početkom 70-tih godina XX vijeka, INGRAM d.d. Srebrenik otvorio pogon krečnih peći i Fabriku betonskih proizvoda.

Danas se eksploatacija krečnjaka na PK "Duboki potok" vrši etažnim miniranjem kamenog agregata, kome prethodi izrada minskih bušotina, pomoću tri aktivne, samohodne bušaće garniture, švedske firme "Atlas Copco", i to: ROC 301, ROC 406 i ROC F6. Nakon eksploatacije krečnjaka, vrši se njegovo drobljenje i separisanje.

Efektivna dubina minskih bušotina na proizvodnim etažama kamenoloma kreće se do 25 m, a izrađuju se prečnikom bušenja 89 mm (3 1/2").

Tokom izvođenja bušaćih radova primijećeno je pojačano trošenje radnog dijela DTH čekića, odnosno deformacije i gubitak radnih zubi bušaćeg dlijeta tipa "Ballistic RocketBit", praćeno djelimičnim oštećenjem matrice dlijeta, iako je razmatranim dlijetima izbušena relativno "mala metraža", tek 500 izbušenih metara ili manje. Postepeno trošenje zubi bušaćeg dlijeta ili njihovo izbacivanje iz utora u koje su ugrađeni nije neobična pojava, a redovno je povezana sa fizičko-mehaničkim karakteristikama radne sredine (stijene) koja se buši i primijenjenim parametrima udarno-rotacionog bušenja koji, u tom slučaju, odstupaju od optimalnih vrijednosti.

¹ Prof. Adnan Hodžić, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla, Bosna i Hercegovina, adnan.hodzic@untz.ba

² Prof. Sanel Nuhanović, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla, Bosna i Hercegovina, sanel.nuhanovic@untz.ba

³ Doc. Muhidin Brčaninović, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla, Bosna i Hercegovina, muhidin.brcaninovic@untz.ba

⁴ Muamer Muratović, bachelor – inženjer rudarstva za bušotinsku eksploataciju

U dodiru sa stijenama, radni elementi bušačkog alata izloženi su, ne samo mehaničkim naprezanjima, nego i velikom trenju između reznih struktura radnog elementa (dlijeta) i površine stijene koja se buši.

Kao posljedica pojačanog trenja među tim površinama, dolazi do postepenog trošenja reznih struktura (zubi) dlijeta, tako da se, u određenom vremenskom periodu, prvobitni geometrijski oblik i dimenzije cjelokupnog radnog dijela bušačkog čekića mijenjaju, odnosno, dolazi do dupljenja sječiva (zubi) dlijeta i smanjenja prečnika radnog dijela dlijeta, što dovodi do opadanja njegove radne sposobnosti.

Radi poboljšanja efekata bušenja teži se, pored povećanja mehaničke brzine bušenja, smanjenju habanja bušačkog alata i povećanju izdržljivosti reznih elemenata bušačkog dlijeta. Pri tome je jedan od osnovnih uslova za optimalan rad bušaće opreme poznavanje svojstava i kvaliteta reznih elemenata bušačkog dlijeta i njihove izdržljivosti, naročito za slučaj bušenja u tvrdim, abrazivnim i ispućalim stijenskim sredinama.

2. POLOŽAJ I GEOLOGIJA LEŽIŠTA KREČNJAKA "DUBOKI POTOK"

Ležište krečnjaka i PK "Duboki Potok" nalazi se u istoimenoj mjesnoj zajednici, koja pripada opštini Srebrenik, a nalazi se oko 7 km južno od centra grada Srebrenika, pored magistralnog puta M-18, sa desne strane, posmatrano iz smjera Srebrenika ka Tuzli. Smješteno je neposredno uz rijeku Tinju, a pripada krajnjim obroncima sjeverozapadnog oboda planine Majevice. U reljefu se jako ističe svojim skoro vertikalnim odsjecima, koji su sa sjeverne strane veoma izraženi. Masiv je uglavnom pošumljen, na prevojima je pod kulturama, naročito voćnjacima, i nije naseljen.



Slika 1. Prostorni položaj ležišta krečnjaka "Duboki potok" [11]

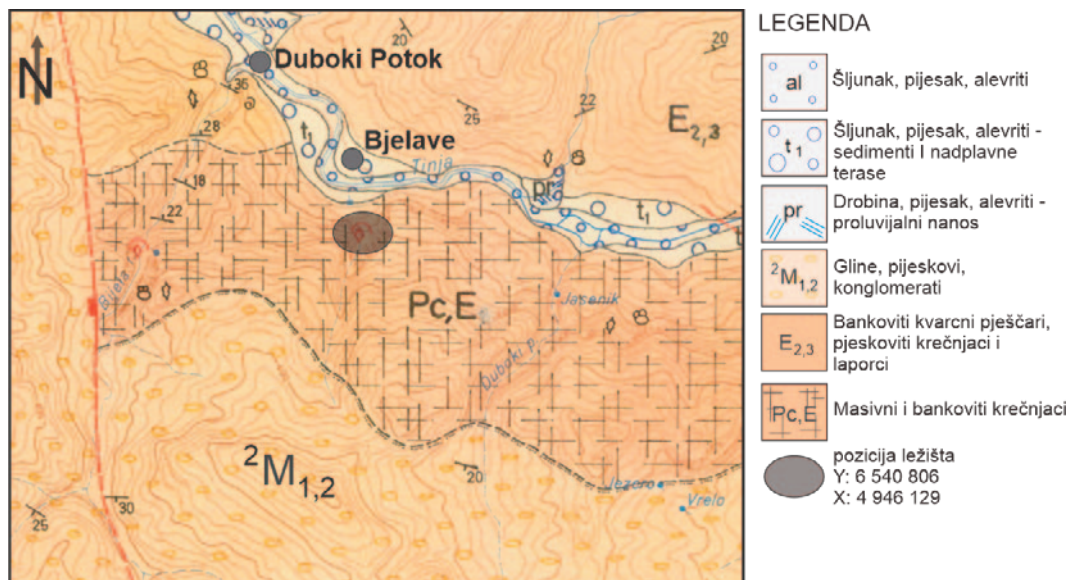
U morfološkom pogledu, šire područje krečnjačkog masiva je izgrađeno od čvrstih i kompaktnih krečnjaka koji predstavljaju istaknute reljefne oblike, sa strmim padinama i odsjecima, u koje se usjekla rijeka Tinja, koja ograničava ležište sa njegove sjeverne strane. Rječica Bijela rijeka predstavlja prirodnu granicu sa zapadne strane, a bezimena potok sa istočne strane. Pozitivni reljef ovog područja uzrokovan je razgranatom hidrografskom mrežom rijeke Tinje, njenih pritoka i okolnih potočića.

2.1. GEOLOŠKA GRAĐA LEŽIŠTA KREČNJAKA "DUBOKI POTOK"

Geološke karakteristike šire okoline su obrađene na osnovu podataka sa OGK-e lista Tuzla i tumača istoimene karte [3,4] a predstavljene su na slici 2.

U geološkoj građi ležišta Duboki Potok - Bijela rijeka učestvuju laporci i krečnjaci eocena, zatim aluvijalno-deluvijalne gline i aluvion rijeke Tinje.

Krovinu krečnjaka predstavlja humusno-glinoviti materijal, različite debljine, pomiješan sa drobinskim krečnjačkim materijalom u dubljim dijelovima. Laporci se redovno pojavljuju u podini krečnjaka. Na površini terena javljaju se u koritu bezimenog potoka, na istočnoj granici ležišta i u koritu rijeke Tinje. To su laporci u kojima se javljaju interkalacije sitnozrnih pješčara i laporovitih, pjeskovitih do brečastih krečnjaka.



Slika 2. Geološka karta područja ležišta krečnjaka "Duboki potok"

Krečnjaci su iste starosti kao i laporci i postepeno iz ovih laporaca prelaze u masivne do bankovite krečnjačke ležišta. Ova krečnjačka masa ima oblik izduženog sočiva, deformisanog pod uticajem tektonskih i erozivnih faktora. Najveća debljina ležišta utvrđena istražnim bušenjem iznosi preko 130 m.

Niži dijelovi krečnjačke mase izgrađeni su od varijeteta krečnjaka, obično svjetlije boje i bogatiji fosilnim vrstama, najčešće foraminiferama prostije građe. Viši dijelovi obično su smeđe-sive boje. Među fosilima najčešće su foraminifere, ponekad i dosta složene građe i većih dimenzija (numuliti).

Kvartar, kao najmlađi geološki član, predstavljen je aluvijalno-deluvijalnim glinama. U dolini Tinje javljaju se aluvijalni nanosi sa šljunkom, pijeskom i glinom.

Ležište se pruža u pravcu istok-zapad, na dužini preko 1000 m. Na desnoj obali bezimenog potoka, prema istoku, ovaj krečnjački masiv produžava se za još oko 1500 m. Dosadašnjim istraživanjima masiva utvrđena je i njegova širina preko 300 m.

U genetskom smislu, produktivna serija masivnih krečnjaka je monomineralnog sastava, organskog porijekla, nastala iz zoogenih i fito taloga u eocenu, sa visokim sadržajem korisne komponente CaCO₃.

Krečnjaci ležišta Duboki Potok - Bijela rijeka su izrazito organogeni. Od fosila najbrojnije su razne vrste foraminifera, znatno rjeđe briozoe i koralni, a podređeno alge, krinoidi i gastropodi.

Analizama ovih krečnjaka ustanovljeno je da je krečnjak nastao u plitkovodnoj sredini sa izrazitom dinamikom morske vode, što se odrazilo na neravnomjeran raspored konstitutivnih elemenata (intraklasti, fosili).

To je uz naknadna tektonska oštećenja dovelo do znatnog narušavanja homogeniteta krečnjaka, odnosno do njihove izrazite anizotropije kada su u pitanju fizičko-mehaničke osobine.

Sa hidrogeološkog aspekta, u geološkoj građi ležišta mogu se izdvojiti:

- podinski laporoviti sedimenti, koji imaju ulogu izolatora i
- krečnjačke mase sa razvijenom pukotinskom mikroporoznošću, kao kolektori [5, 6].

3. KARAKTERISTIKE BUŠAĆE GARNITURE

Bušača garnitura AC ROC F6 opremljena je dubinskim čekićem (DTH ROCKMORE 300-001), sa maksimalnom dubinom bušenja od 36,0 m. Bušača garnitura posjeduje 8 bušačkih šipki, dužine 4,0 m po jednoj bušačkoj šipki. Prečnik bušačkih šipki je 76 mm. Vijčani kompresor, radnog pritiska od 14 bara je kapaciteta 230 l/s, brzina rotacije je 77 min⁻¹, a maksimalni obrtni moment 1600 Nm [10].

Radni pritisak kompresora, pri izradi minskih bušotina na PK "Duboki potok", na bušačkoj garnituri AC ROC F6, podešen je na 11-12 bara.

Radne karakteristike bušaće garniture ROC F6, prikazane su u tabeli 1.

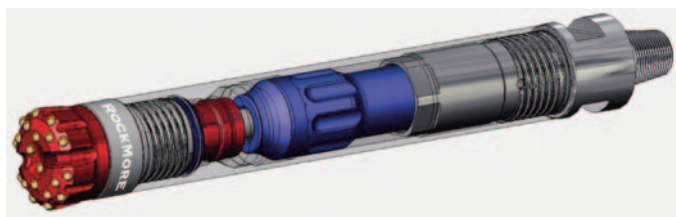
Karakteristike bušaće garniture ROC F6	
Proizvođač	Atlas Copco
Tip	ROC F6
Snaga pogonskog agregata	186 (kW)
Radni pritisak kompresora	14 (bar)
Protok zraka	230 (l/s)
Maksimalni pritisak hidraulične pumpe	250 (bar)
Masa	15 700 (kg)
Maksimalna brzina	3,5 (km/h)
Vučna sila	166 (kN)
Dužina bušaćih šipki	4000 (mm)

Tabela 1. Osnovne karakteristike bušaće garniture ROC F6

3.1. OSNOVNI PRINCIP RADA DTH BUŠAČEG ČEKIĆA

Bušaća garnitura (AC ROC F6) koja se koristi za izradu minskih bušotina na PK "Duboki potok" posjeduje DTH čekić (ROK 300-001, IR 3.5, 2-3/8", API Reg Pin), sa bušaćim dlijetom tipa "Ballistic RocketBit" (convexe face 3 1/2").

Tipičan izgled DTH bušaćeg čekića prikazan je na slici 3, a njegove osnovne karakteristike u tabeli 2.



Slika 3. Tipičan izgled DTH bušaćeg čekića [9]

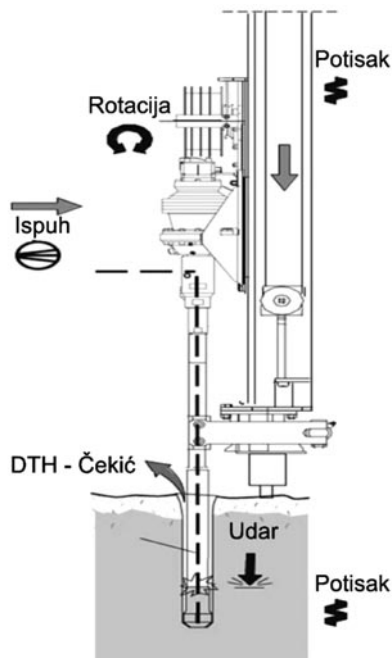
Tabela 2. Osnovne karaktersitike DTH čekića primijenjenog na PK "Duboki potok" [9]

Karakteristike DTH bušaćeg čekića	
Proizvođač	ROCKMORE
Tip	ROK 300-001
Preporučeni prečnik dlijeta	88 – 105 (mm)
Masa čekića bez dlijeta	20,9 (kg)
Pritisak zraka	10,4 – 24,1 (bar)
Potrošnja zraka	4,1 – 9,0 (m ³ /min)
Preporučena brzina rotacije	35 – 95 (min ⁻¹)

Kod udarno-rotacionog bušenja uz primjenu čekića na dnu bušotine (DTH) radni dio bušaćeg čekića, odnosno bušaće dlijeto, sa svojim reznim stukturama (zubima), u konstantnom je dodiru sa stijenom koja se buši. Udar na stijenu obezbjeđuje protok komprimiranog zraka, koji pogoni radni klip čekića, čijim se kretanjem udar prosljeđuje na bušaće dlijeto. Pri tome, veći kapacitet kompresora uslovljava i veću efikasnost samog bušenja.

Rotacija se obezbjeđuje hidraulički, na površini, odnosno na lafeti bušaće garniture (slika 4). Prečnici bušenja se najčešće kreću od 89-165 mm, iako mogu biti i znatno veći. Dubine bušotina izrađenih ovom metodom bušenja su i do 60 m.

Upotreba DTH čekića pri zradi minskih bušotina umanjuje mogućnost pojave devijacije kanala bušotine, a osnovna ograničenja predstavljaju manja mehanička brzina bušenja (u odnosu na udarno-rotacionu metodu bušenja sa čekićem na površini – "Top Hammer"), te manja pokretljivost postrojenja (zbog dimenzija kompresora), kao i veća potrošnja energije.



Slika 4. Princip rada bušaćeg pribora sa DTH čekićem [7]

Na radni dio dubinskog čekića (eng. Down The Hole – DTH), tokom rada u bušotini, djeluju različite sile:

- sila udara,
- sila potiskivanja bušaćeg pribora na dno bušotine (osno opterećenje),
- sila rotacije,
- sila trenja zubi i dlijeta o stijenu koja se buši.

Sila udara obezbjeđuje prodiranje zubi bušaćeg dlijeta u stijenu, a osigurava se pritiskom komprimiranog zraka iz kompresora, sa površine terena. Sam udar se obezbjeđuje u bušaćem čekiću, odnosno na dnu bušotine. Tokom prenosa udara sa klipa bušaćeg čekića na bušaće dlijeto, oslobađa se zrak, koji dodatno služi i za čišćenje (ispuhivanje) odlomljenih fragmenata stijena sa dna bušotine. Snaga udara direktno je proporcionalna pritisku zraka, pa se njime i kontroliše.

Kod mekših stijena, pritisak zraka trebao bi biti manji, ali dovoljan da nakon obavljanja rada u čekiću učinkovito izvrši iznošenje odlomljenih fragmenata stijene sa dna bušotine.

Slabo čišćenje dna kanala bušotine rezultira smanjenjem mehaničke brzine bušenja, skraćanjem radnog vijeka bušaćih šipki, povećanim trošenjem bušaćeg čekića i bušaćeg dlijeta (zubi), te povećava mogućnost zaglavlivanja bušaćeg pribora.

Sila potiskivanja bušaćeg pribora na dno bušotine (osno opterećenje) ima funkciju održavanja neprestanog kontakta radnog dijela bušaćeg čekića, odnosno bušaćeg dlijeta, sa stijenom na dnu bušotine, te održavanja projektovane trajektorije kanala bušotine. Intenzitet sile potiskivanja bušaćeg pribora (slika 5) zavisi od pritiska komprimiranog zraka kojim se kontroliše sila udara, zatim od vrste stijene koja se buši, od dubine bušotine, te od vrste i karakteristika bušaćeg pribora.



Slika 5. Zavisnost sile potiskivanja bušačeg pribora od pritiska komprimiranog zraka

Preveliko osno opterećenje ne dovodi do povećanja mehaničke brzine bušenja. Naprotiv, tada dolazi do povećanog trošenja bušačeg čekića i bušačeg dlijeta (zubi), te pojave devijacije kanala bušotine i iskrivljenja bušačih šipki. Premala sila potiskivanja bušačeg alata ne omogućava optimalan prenos energije udara sa bušačeg pribora na stijenu, što uzrokuje oštećenja na bušačim cijevima i bušačem čekiću. Moderne bušače garniture posjeduju automatsko namještanje optimalne sile potiskivanja, dok je kod bušenja sa starijim bušačim garniturama vrlo bitno iskustvo osobe koja upravlja bušačom garniturom.

Sila rotacije obezbjeđuje obrtni moment bušačeg dlijeta, tako da se svaki novi udar dlijeta izvrši na novoj poziciji u stijenskom materijalu. Optimalna brzina rotacije zavisi od tipa, geometrije i veličine bušačeg dlijeta, te fizičko - mehaničkih karakteristika stijene koja se buši.

Ukoliko je primijenjena brzina rotacije veća od optimalne, to može uzrokovati povećano trošenje bušačeg dlijeta, odnosno njegovih zubi, jer tada do odlamanja stijene dolazi usljed rotacije, a ne usljed sile udara. Sa druge strane, brzina rotacije koja je manja od optimalne uzrokovat će manju mehaničku brzinu bušenja i pretjerano, nepotrebno usitnjavanje odlomljenih stijenskih fragmenata.

4, PROBLEMATIKA IZRADE MINSKIH BUŠOTINA NA PK "DUBOKI POTOK"

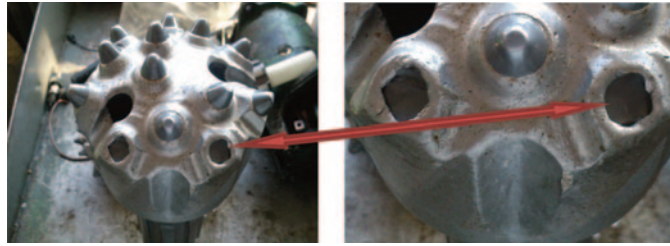
Tokom izrade minskih bušotina na PK "Duboki potok", uočeno je mehaničko oštećenje zubi bušačeg dlijeta (radni dio DTH čekića), odnosno ispadanje zubi dlijeta (umetaka, inserata) iz za to predviđenih utora u tijelu bušačeg dlijeta, i to po 2 zuba na svakom bušačem dlijetu. Tijelo bušačeg dlijeta, u koje su ugrađene rezne strukture - zubi, izrađeno je od otpornog, hromom (Cr) legiranog alatnog čelika.

Zubi dlijeta izrađeni su od legure tungsten karbida, odnosno legure wolframa (Wf) i ugljika (C), koja se odlikuje velikom tvrdoćom i otpornošću na trošenje (habanje). Tvrdoća takvog materijala iznosi 8,5-9,0 na Mohsovoj skali tvrdoće, a njegov uobičajeni praktični naziv je "Widia" (njem. *Wie Diamant – poput dijamanta*). Ipak, uz sve navedeno, pri izvođenju bušačih radova na PK "Duboki potok" došlo je do gubitka zubi dlijeta, odnosno do njihovog izlijetanja iz utora putem kojih su ugrađeni u tijelo dlijeta.

Fotografije na slikama 6 i 7, prikazuju izgled oštećenog bušačeg dlijeta DTH čekića, do čega je došlo tokom izrade minskih bušotina na PK "Duboki potok".



Slika 6. Izgled bušačeg dlijeta DTH čekića, sa mjestima gubitka zubi dlijeta, nakon izbušenih 384 m



Slika 7. Izgled bušačeg dlijeta DTH čekića, sa mjestima gubitka zubi dlijeta, nakon izbušenih 182 m

Sa slika 6 i 7, vidljivo je da su zubi bušačeg dlijeta istrgnuti (odlomljeni) iz svoga ležišta (utora) na sfernom dijelu dlijeta, pri čemu je došlo i do oštećenja matrice dlijeta. Pri tome su oštećeni samo periferni zubi (Gauge Carbides) i dio matrice oko njih.

Problematika takvog tipa oštećenja DTH bušačeg dlijeta je poznata i detaljnije je razrađena u dijelu diskusije. Interesantno je što je do gubitka zubi bušačeg dlijeta došlo u ranoj fazi njihove "eksploatacije", odnosno nakon male izbušene "metraže" (na slikama su navedene "metraže" od 182 m, odnosno 384 m).

Uz sve navedene karakteristike o tvrdoći i izdržljivosti materijala od koga je napravljeno tijelo dlijeta, kao i njegovi umetnuti zubi, za očekivati je da radni vijek ovih bušačih dlijeta bude dosta duži i da se navedeni problemi ne bi trebali dešavati u ovoj fazi njihovog rada.

Naime, navedena bušača dlijeta su i predviđena za bušenje u srednje tvrdim do tvrdim stijenama (prvenstveno šejlovi i krečnjaci) sa manjim sadržajem SiO_2 . Raspored zubi na odabranom tipu dlijeta (slike 6 i 7) upućuje na izbor koji donosi manju mehaničku brzinu bušenja, ali zato povećan radni vijek reznih struktura, kao i bušačeg dlijeta u cjelini [9].

5. DISKUSIJA

Da bi se došlo do kvalitetnih zaključaka o uzrocima oštećenja i gubljenja zubi bušačeg dlijeta DTH čekića, pri izradi minskih bušotina na PK "Duboki potok", potrebno je analizirati moguće parametre koji su doveli do takvih oštećenja bušačeg alata. Oni se mogu podijeliti u dvije skupine, predstavljene geološkim i tehničko-tehnološkim uzrocima. Geološki uslovi podrazumijevaju fizičko-mehaničke karakteristike radne sredine (tvrdoća i čvrstoća stijenskog materijala i eventualno prisustvo proslojaka tvrdog materijala), te inženjersko-geološke uslove (stepen ispucalosti, rasjedi, zdrobljene zone i sl.). U tehničko-tehnološke i organizacijske uzroke mogu se ubrojati: izbor adekvatnog alata za bušenje (u ovom slučaju, primarno, bušačeg dlijeta), izbor i primjena optimalnog režima bušenja, te obučenost i koncentriranost osoblja koje izvodi bušače operacije.

Geološke parametre, generalno, ne možemo kontrolisati, ali ih, donekle, možemo predvidjeti provođenjem kvalitetnih istažnih radova. Tehničko-tehnološke i organizacijske parametre možemo kontrolisati u cijelosti.

5.1. ANALIZA GEOLOŠKIH PARAMETARA

Krečnjaci ležišta "Duboki potok" su sprudni masivni intraspariti i oospariti, paleocensko-eonske (Pc,E) starosti. Zbog tektonske razdrobljenosti i naknadne erozije sačuvali su se u većim ili manjim blokovima, čija je debljina do 300 m. Bočno prelaze u paleocenske klastite, koji su zastupljeni pješčarima, laporovitim alevrolitima i kalkarenitima. Konkordantno preko njih leže sitnozrni do srednjezrni žutocrveni pješčari, koji su naknadno razoreni.

Zbog izraženih tektonskih aktivnosti, može se zaključiti da su krečnjaci, koji se eksploatišu na ovom ležištu, dezintegrirani (njihove fizičko-mehaničke karakteristike su promjenjive, usljed visokog stepena ispucalosti) i dekompozirani (prisutne su česte izmjene u njihovom hemijskom i mineraloško-petrološkom sastavu).

U ovakvim, heterogenim radnim sredinama, bitno je poznavanje geoloških karakteristika formacija (naročito po dubini) kako bi se, prema njima, primijenio i optimalni režim bušenja. Dakle, broj obrtaja bušačeg čekića, primijenjeno osno opterećenje i količinu komprimiranog zraka za ispuhivanje nabušenih krhotina na površinu terena, potrebno je prilagoditi mikro radnoj sredini. Postojanje tvrdih proslojaka ili uklopaka stijenskog materijala veće tvrdoće, može biti uzrok gubitka reznih struktura bušačeg dlijeta.

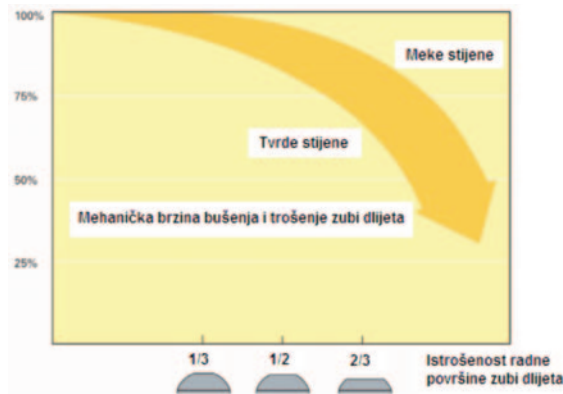
5.2. ANALIZA TEHNIČKO-TEHNOLOŠKIH PARAMETARA

5.2.1. Primijenjeni režim bušenja

a) Osnovno opterećenje

Pri udarno-rotacionom bušenju uz upotrebu DTH čekića, određujući faktor razaranja stijene na dnu bušotine nije masa bušačkog alata, nego perkusivno djelovanje dlijeta na stijeni, uzrokovano pritiskom komprimiranog zraka koji pogoni čekić, uz određeni stepen primijenjenog obrtnog momenta.

Ipak, suviše veliko osnovno opterećenje na bušaće dlijeto, najčešće primijenjeno sa ciljem povećanja mehaničke brzine bušenja, može dovesti do oštećenja zubi dlijeta.



Slika 8. Zavisnost mehaničke brzine bušenja od stepena istošenosti zubi bušačkog dlijeta

Sa slike 8 se vidi da mehanička brzina bušenja opada sa porastom istrošenosti reznih struktura bušačkog dlijeta. Ta promjena je izraženija u tvrdim formacijama. Opadanje mehaničke brzine bušenja često izaziva potrebu za povećanjem osnovnog opterećenja i broja obrtaja bušačkog alata, što bi trebalo biti praćeno i povećanjem količine ubačenog komprimiranog zraka, kako bi se nabušene krhotine stijene iznijele na površinu.

U praksi se često dešava da se optimalna veličina primijenjenog opterećenja "kontroliraju" sluhom bušača. Pri tome, čist udarni zvuk bušačkog čekića, koji dolazi sa dna bušotine, znači da bušači čekić radi ispravno. Oslanjanje na iskustvo i sluh bušača često dovode do nepotrebnih i neželjenih zastoja u procesu bušenja.

Moderne bušaće garniture posjeduju automatizovan sistem regulisanja optimalnog opterećenja na dlijeto (kao, uostalom, i optimalne brzine rotacije bušačkog alata, te optimalne količine komprimiranog zraka za ispuhivanje kanala bušotine).

Osnovno opterećenje, u ovom slučaju, ostvaruje se masom niza bušačkog alata (masa bušačkih šipki u kanalu bušotine, uvećana za masu samog DTH čekića), tako da je teško pretpostaviti da je ono uzrok gubitka zubi bušačkog dlijeta.

b) Brzina rotacije

Rotacija bušačkog alata, u slučaju udarno-rotacionog bušenja uz upotrebu DTH bušačkog čekića, nema direktan uticaj na razrušavanje stijenskog materijala na dnu bušotine, ali može biti jedan od glavnih uzroka trošenja i oštećenja bušačkog dlijeta i njegovih reznih struktura.

Naime, povećanjem brzine rotacije, potrebno je i bolje iznošenje nabušanih fragmenata stijenskog materijala sa dna kanala bušotine. U suprotnom, dolazi do zaglavlivanja alata na dnu bušotine i mogućeg gubitka reznih struktura (zubi) bušačkog dlijeta.

Parametri bušenja, pa između ostalih i brzina rotacije, kod izrade minskih bušotina na PK "Duboki potok", postavljeni su za idealnu radnu sredinu, što vjerovatno dovodi do problema u procesu bušenja, jer su karbonatne stijene u ležištu dezintegrisane, raspucane i dekompozirane, odnosno heterogene.

c) Iznošenje nabušanih krhotina sa dna bušotine

Iznošenje nabušanih krhotina stijenskog materijala sa dna kanala bušotine, pri izradi minskih bušotina, ostvaruje se stalnom cirkulacijom zraka, koju obezbjeđuje kompresor, sa površine terena. U procesu iznošenja, pri tome, pomaže i "višak" zraka, preostao pogonjenjem radnog klipa DTH bušačkog

čekića. Kompresor je, dakle, taj koji obezbjeđuje energiju udara dlijeta (a samim tim i njegovih reznih struktura) o stijenu na dnu bušotine. Vrijedi pravilo da veća energija udara na bušaće dlijeto povećava mehaničku brzinu bušenja i poboljšava njegove radne performanse.

Sa druge strane, povećanje mehaničke brzine bušenja znači i veću količinu nabušenog materijala koju je potrebno iznijeti na površinu terena, tako da se pritisak kompresora i količina komprimiranog zraka u cirkulaciji moraju optimalizirati (raspon potrošnje zraka za primijenjeni DTH bušaći čekić kreće se od 4,1 – 9,0 m³/min, što je vidljivo iz tabele 2).

Radni pritisak kompresora na bušaćoj garnituri ROC F6, pri izradi minskih bušotina na PK "Duboki potok" podešen je na 11-12 bara, što uglavnom zadovoljava uslove radne sredine, bez uzimanja u obzir problema vezanih za njenu dezintegriranost, te eventualno prisustvo proslojaka i odlomaka materijala veće tvrdoće.

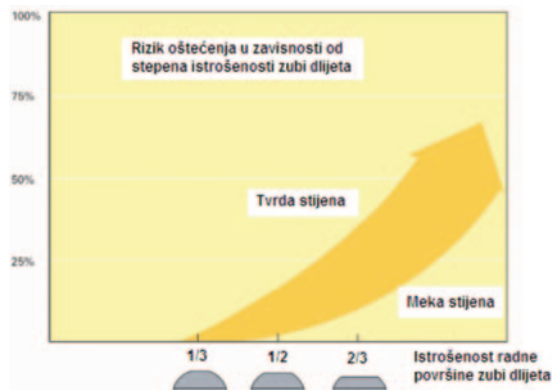
Za slučaj da količina zraka u cirkulaciji, kao i ostvarena brzine njegovog protoka u kanalu bušotine, nisu dovoljni, postoji mogućnost slabog čišćenja dna kanala bušotine od nabušenog materijala, te je bušaće dlijeto primorano "ponovo" bušiti već jednom nabušeni materijal, pri čemu često dolazi do brzog trošenja zubi dlijeta ili njihovog oštećenja i gubitka, kao u ovom slučaju.

Generalno, može se zaključiti da se, zbog geoloških uslova radne sredine, u slučaju izrade minskih bušotina na PK "Duboki potok" ne preporučuju konstantni parametri režima bušenja, jer radna sredina nije idealna.

5.2.2. Izbor bušaćeg dlijeta

Tokom procesa razrušavanja stijenskog materijala na dnu bušotine, dolazi do postepenog trošenja (habanja) reznih struktura dlijeta, po visini i prečniku, čime se povećava površina zuba dlijeta. Povećanje radne površine zuba dlijeta iziskuje potrebu dodatnog opterećenja na dlijeto, što je često uzrok loma zuba dlijeta ili tijela dlijeta u cijelosti.

Zubi bušaćeg dlijeta se smatraju "naoštranim", ako prečnik njihovog vrha iznosi $\frac{1}{4}$ njihovog osnovnog prečnika (baze). Trošenjem radne površine zubi bušaćeg dlijeta oni se istupljuju, buše sporije, te dolazi do zamora materijala, što skupa uzrokuje lom zubi i čelične matrice bušaćeg dlijeta [8].



Slika 9. Rizik oštećenja bušaćeg dlijeta u stijenama različite tvrdoće, zavisno od stepena istrošenosti zubi dlijeta

Kako je već navedeno, zbog poznatih karakteristika radne sredine, odnosno krečnjaka, izbor dlijeta bušaćeg čekića, koji se upotrebljava na PK "Duboki potok" (Conwexe Face, Ballistic Type), izvršen je kvalitetno, jer izbor bušaćeg dlijeta ne može predvidjeti eventualno postojanje proslojaka ili uklopaka tvrdog materijala u sloju, ukoliko to nije definisano prethodno izvedenim detaljnim geološkim i geofizičkim ispitivanjima.

Odabrana bušaća dlijeta, sa svojim reznim strukturama (zubima), kataloški (proizvodno) su predviđena za bušenje u srednje tvrdim do tvrdim stijenama (prvenstveno šejlovi i krečnjaci) sa manjim sadržajem SiO₂ [9].

Kvalitet i raspored zubi na odabranom tipu dlijeta (vidljiv sa slika 6 i 7, te iz kataloških primjeraka) upućuje na izbor dlijeta koji donosi manju mehaničku brzinu bušenja, ali zato povećan radni vijek reznih struktura, odnosno zubi dlijeta, kao i radni vijek dlijeta i bušaćeg čekića, u cjelini.

Ipak, ispostavilo se da su rezne strukture (zubi) primijenjenih bušaćih dlijeta u ovom slučaju imale znatno niži vijek trajanja u odnosu na očekivani. Naime, navedena izbušena "metraža" (u našim primjerima 384 m, odnosno 182 m), nakon koje je došlo do oštećenja bušaćih dlijeta gubitkom njihovih reznih struktura, potpuno je neočekivana, za navedene karakteristike odabranih i primijenjenih bušaćih dlijeta.

Praksa je pokazala [8] da su najčešći uzroci oštećenja prikazanih na slikama 6 i 7, a do kojih je došlo pri izradi minskih bušotina na PK "Duboki potok", sljedeći:

- prekomjerna upotreba dlijeta (prevelika nabušena "metraža"),
- bušenje istrošenim zubima dlijeta,
- bušenje dlijetom kod koga je već došlo do gubitka reznih struktura,
- neadekvatni intervali drobljenja stijenskog materijala, uzrokovani prosljocima tvrdog materijala ili slabim čišćenjem dna kanala bušotine.

Preporučeni načini sprečavanja i rješavanja navedene problematike (dati od proizvođača) su sljedeći:

- češći pregled reznih struktura bušaćeg dlijeta,
- periodično oštrenje istupljenih (potrošenih) zubi dlijeta,
- odstranjivanje i zamjena oštećenih zubi dlijeta,
- uređenje intervala bušenja.

Podaci koje imamo ukazuju na to da se ne može govoriti o bušaćim dlijetima koja su nabušila veliku "metražu", jer ni u jednom slučaju dlijeto nije izbušilo više od 400 m, što je zanemarivo u odnosu na njegov kvalitet i tvorničke specifikacije.

Takođe, prije pomenutih problema, nisu uočeni ili prijavljeni nikakvi gubici reznih struktura dlijeta, što isključuje i uzrok po kome bi do oštećenja došlo upotrebom dlijeta kod kojih su rezne strukture već ranije izgubljene.

Detaljnijim uvidom u slike 6 i 7, može se vidjeti da preostale rezne strukture dlijeta jesu istrošene, ali ne u tolikoj mjeri da se može utvrditi kako su tupe i neupotrebljive, odnosno, sa sigurnošću se može zaključiti da uzrok gubitka zubi dlijeta, u ovom slučaju, nije ni bušenje istrošenim zubima dlijeta.

Na osnovu svega navedenog, kao osnovni uzrok gubitka zubi dlijeta, uz djelimično oštećenje matrice dlijeta preostaje neadekvatan interval bušenja, odnosno drobljenja stijenskog materijala, najvjerovatnije prouzrokovan geološkim uslovima u ležištu (dezintegriranost i dekompoziranost materijala, te prisustvo prosljoka ili umetaka materijala veće tvrdoće) u kombinaciji sa nepodesnim parametrima režima bušenja (primijenjeno osno opterećenje, brzina rotacije i slabije čišćenje dna kanala bušotine).

Dakle, do oštećenja primijenjenih DTH bušaćih dlijeta na PK "Duboki potok", odnosno do gubitka reznih struktura dlijeta u njihovom perifernom dijelu, praćenih djelimičnim oštećenjem matrice dlijeta, vjerovatno je došlo zbog sadejstva dva osnovna uzroka, a to su:

- postojanje prosljoka ili umetaka stijenskog materijala veće tvrdoće i nedovoljno iznošenje (ispuhivanje) nabušenog materijala sa dna kanala bušotine, usljed neodgovarajućeg radnog pritiska na kompresoru ili oštećenja kontrolnog ventila u bušaćem čekiću.

U prvom slučaju su potrebna detaljnija geološka istraživanja, sa ciljem definisanja zona takvih prosljoka i umetaka i sprečavanja daljih istovjetnih problema do kojih može doći pri narednim radovima na izradi minskih bušotina na ovom ležištu.

U drugom slučaju je potrebno povećati radni pritisak kompresora (moguće povećanje radnog pritiska do 14 bara) i količinu zraka u cirkulaciji, kako bi se nabušene krhotine efikasnije iznosile na površinu terena i na taj način oslobađale dno kanala bušotine za neometan rad bušaćeg dlijeta.

U svakom slučaju, potrebno je obavezno povremeno provjeriti kvalitet kontrolnog ventila u bušaćem čekiću i podesiti ga tako da propušta odgovarajuću količinu zraka na radni klip čekića, a ostatak zraka usmjerava na čišćenje dna kanala bušotine.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Izradom minskih bušotina i miniranjem na PK "Duboki potok", eksploatiše se kameni agregat - krečnjak. Za izradu minskih bušotina koriste se tri bušaće garniture firme "Atlas Copco", i to: ROC 301, ROC 406 i ROC F6. Efektivna dubina minskih bušotina na proizvodnim etažama kamenoloma kreće se do 25 m, a izrađuju se sa prečnikom bušenja 89 mm (3 ½").

Tokom izvođenja bušaćih radova primijećen je gubitak perifernih reznih struktura bušaćeg dlijeta ROCKMORE, tipa 300-001, sa insertnim zubima "Ballistic RocketBit", convexe face 3 1/2", i to po dva zuba na svakom korištenom bušačem dlijetu.

Gubitak zubi dlijeta praćen je djelimičnim oštećenjem matrice dlijeta, što je vidljivo sa slika 6 i 7.

Podaci upućuju na činjenicu da je do navedenih oštećenja reznih struktura i matrice bušaćih dlijeta došlo u ranoj fazi njihovog korištenja, odnosno, nakon nabušenih nekoliko stotina metara (u našem primjeru nabušena "metraža" iznosi 182 m, odnosno 384 m).

Postepeno trošenje zubi bušaćeg dlijeta, njihovo izbacivanje iz utora u koje su ugrađeni, kao i drugi vidovi oštećenja zubi ili matrice bušaćeg dlijeta, nisu neobična pojava, a redovno je povezana sa fizičko-mehaničkim karakteristikama radne sredine (stijene) koja se buši i vrijednostima primijenjenih parametara udarno-rotacionog bušenja koji, u tom slučaju, odstupaju od potrebnih, optimalnih vrijednosti.

Analizirajući oštećenja, vidljiva na slikama 6 i 7, i konsultujući vodič proizvođača korištenih bušaćih dlijeta za najčešće probleme koji se susreću pri njihovoj upotrebi, te načine njihovog rješavanja [8], može se izvesti nekoliko zaključaka:

- Ne radi se o bušaćim dlijetima koja su imala prekomjernu upotrebu, jer nabušena "metraža", pri kojoj je došlo do gubljenja zubi dlijeta i oštećenja njegove matrice, relativno je mala u odnosu na očekivani radni vijek bušaćih dlijeta, pri njihovoj upotrebi u "normalnim" radnim sredinama;

- Bez obzira na stepen iskorištenosti, potrebno je kontinuirano (u ovom slučaju češće) provoditi provjeru stanja reznih struktura (zubi) bušaćeg dlijeta i njihovo povremeno oštrenje, zato što radom na razaranju tvrdog stijenskog materijala, kao i usljed trenja koje se pri tome javlja, dolazi do njihovog konstantnog trošenja, po prečniku i visini;

- Prije uočenih problema nisu registrovani ili prijavljeni nikakvi gubici zubi dlijeta ili oštećenja matrice dlijeta, te se uzrokom njihovog gubitka i oštećenja ne može smatrati upotreba bušaćeg dlijeta kod koga je već došlo do određenih gubitaka reznih struktura ili napuknuća matrice;

- Sva oštećenja i gubici zubi bušaćih dlijeta vezani su za njihov periferni dio, što se može povezati sa uslovima slabog čišćenja dna kanala bušotine i premale brzine rotacije bušaćeg dlijeta. Pošto u slučaju udarno-rotacionog bušenja, brzina rotacije bušaćeg dlijeta nije od presudne važnosti, za pretpostaviti je da je slabije iznošenje nabušenih krhotina stijenskog materijala sa dna kanala bušotine uzrokovalo otežan rad bušaćeg dlijeta na dnu, nakupljanjem nabušenog materijala oko glave dlijeta, pri čemu su stradali zubi i matrica na njegovom perifernom dijelu;

- Da bi se spriječila buduća oštećenja sličnog tipa, potrebno je, pri izvođenju bušaćih operacija, povećati pritisak na kompresoru (maksimalni dopušteni radni pritisak iznosi 14 bara), čime bi se ubrzao protok komprimiranog zraka u bušotini i obezbijedili uslovi za bolje čišćenje njenog kanala, odnosno efikasnije iznošenje nabušenog materijala;

- Potrebno je povremeno provjeriti kvalitet kontrolnog ventila u bušačem čekiću i podesiti ga tako da propušta odgovarajuću količinu zraka na radni klip čekića, a ostatak zraka usmjerava na čišćenje dna kanala bušotine;

- Radna sredina (krečnjak) je tektonski razdrobljena i heterogena, tako da ne treba isključiti mogućnost postojanja sporadičnih proslojaka i umetaka materijala veće tvrdoće što bi, uz prisutnu ispucalost blokova krečnjaka, moglo biti uzrokom oštećenja zubi dlijeta i njegove matrice;

- U cilju boljeg upoznavanja sa inženjersko-geološkim uslovima koji vladaju u ležištu krečnjaka "Duboki potok" i reduciranja istih ili sličnih problema u nastavku izrade minskih bušotina, potrebno je provesti detaljnija geološka i geofizička istraživanja na ovom ležištu, kako bi se preciznije utvrdile zone granica između blokova, te prisustvo pomenutih proslojaka i odlomaka tvrdih materijala u krečnjačkom masivu.

LITERATURA

- [1] Kujundžić, T.: "Bušenje", Interna skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2006.
- [2] Premachardan, K.R.: "Characteristics of Performance Monitoring System for DTH Drilling - Atlas Copco EDGE", Master's Degree Thesis, Department of Mechanical Engineering Blekinge Institute of Technology Karlskrona, Sweden 2015.
- [3] Čičić, S., Mojičević, M., Jovanović, Č., Tokić, S. i Dimitrov, P.: "Osnovna geološka karta SFRJ, list Tuzla, 1: 100 000", OOUR Geoinstitut Sarajevo, 1988.
- [4] Čičić, S., Mojičević, M., Jovanović, Č. i Tokić, S.: "Tumač za osnovnu geološku kartu SFRJ, list Tuzla, 1: 100 000", OOUR Geoinstitut Sarajevo, 1988a.
- [5] Ignjatović, P., Trebinčević, A.: "Elaborat o proračunu rezervi krečnjaka u ležištu Duboki Potok - Bijela rijeka kod Srebrenika", IGMIN, Tuzla, 1989.
- [6] Ignjatović, P., Trebinčević, A.: "Elaborat o prostornom razmještanju kvaliteta krečnjačkih masa u ležištu Duboki Potok - Bijela rijeka kod Srebrenika", IGMIN, Tuzla, 1990.
- [7] Sandvik, 2010. Operator's Manual, URL: <http://mining.sandvik.com/en/products/tools/bench-drilling-dth> (18.11.2020)
- [8] "DTH Failure Troubleshooting Guide, ROCKMORE International, DTH Drilling Tools – Bits and Hammers", May, 2020., URL: www.rockmore-intl.com (02.12.2020.)
- [9] www.rockmore-intl.com (18.11.2020.)
- [10] https://psndealer.com/dealersite/images/newvehicles/2011/nv235884_1.pdf (18.12.2020.)
- [11] Google Earth, 2020. (01.12.2020.)

MOGUĆNOST PRIMJENE KREČNJAKA IZ KAMENOLOMA VIJENAC U PROIZVODNJI CEMENTA I SODE

Elvir Babajić¹, Medina Nuhić², Zehra Salkić³

SAŽETAK

Krečnjaci Vijenca kod Lukavca se već duži period koriste kao sirovine za proizvodnju cementa i sode. Petrografski su definisani kao intrabiomikriti, oobiomikriti i biomikriti, brečaste teksture i mikrokristalaste do sitnokristalaste strukture. Štetne komponente u krečnjacima po pitanju mineralno-petrografskog sastava, u proizvodnji cementa i sode još nisu definisane. Iz toga razloga je izvršena korelacija sa hemijskim sastavom sukladno internim standardima fabrika sode i cementa.

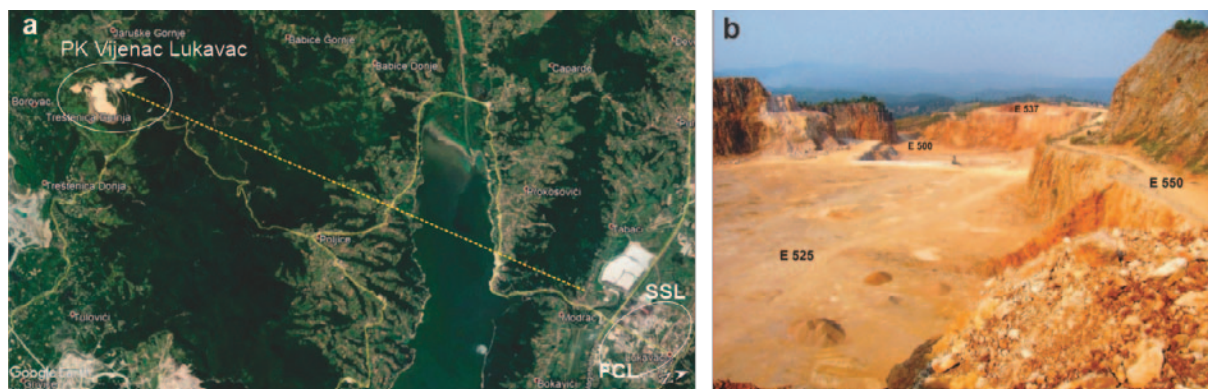
U proizvodnji sode, manja odstupanja od internog standarda su zabilježena kod SiO_2 , Al_2O_3 i CaCO_3 . Povišene vrijednosti (iznad limita) su karakteristične za Ca sulfat. Kod proizvodnje cementa, odstupanja od internog standarda su zabilježena kod Al_2O_3 i Fe_2O_3 (niske vrijednosti) i CaCO_3 (povišene vrijednosti).

Analizom prostorne distribucije litotipova karbonatnih stijena Vijenca, selektivnom eksploatacijom i kroz procese pripreme (drobljenje i mljevenje) može se uticati na hemijski sastav stijena i isti prilagoditi internim standardima u proizvodnji sode i cementa.

Ključne riječi: Vijenac, karbonatne stijene, proizvodnja sode, proizvodnja cementa.

1. UVOD

Ležište karbonatnih stijena Vijenac se nalazi jugozapadno od Lukavca na udaljenosti oko 23 km. Približno je udaljeno od željezničkih stanica u Banovićima i Lukavcu. Fabrike sode i cementa u Lukavcu koriste preko 80% ukupne godišnje proizvodnje, a transport krečnjaka se obavlja žičarom dužine oko 12 km (sl. 1a). Na kamenolomu Vijenac razvijeno je više eksploatacionih etaža. Eksploataciona etaža (E 604) je usječena je u krečnjake na najvišoj koti, a najniža etaža je formirana na koti 500 m (sl. 1b).



Slika 1. a) pozicija ležišta krečnjaka Vijenac, b) razvijene etaže

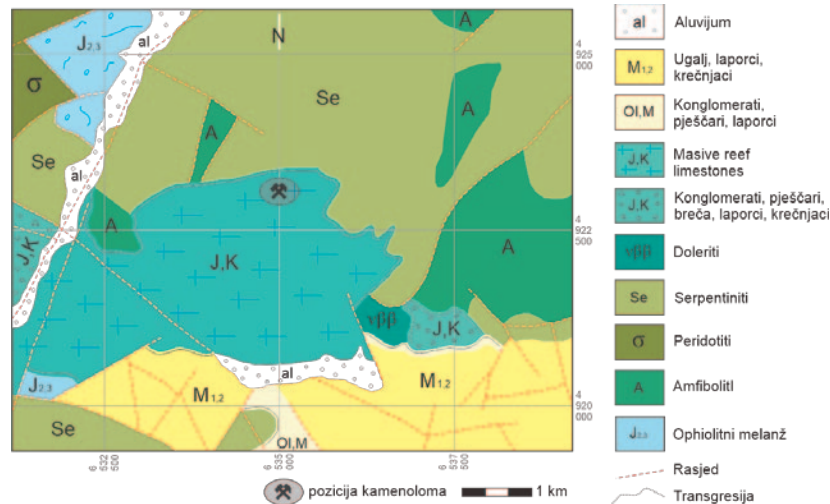
¹ Prof. Elvir Babajić, vanr. prof., Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Urfeta Vejzagića 2, Tuzla, Bosna i Herecegovina, elvir.babajic@untz.ba

² Mr. Medina Nuhić, bach.ing.geol., Geomet doo Olovo, Huseina kapetana Gradaševića bb, Olovo, Bosna i Herecegovina, medina.nuhic@geomet.ba,

³ Prof. Zehra Salkić, vanr. prof., Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, Urfeta Vejzagića 2, Tuzla, Bosna i Herecegovina, zehra.salkic@untz.ba

GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Šire područje ležišta krečnjaka Vijenac kod Lukavca, izgrađuju tvorevine ofiolitnog melanža sa amfibolitima i amfibolitskim škriljcima, peridotitima, serpentinitima i doleritima. Zatim slijede neraščlanjeni gruboklastični sedimenti gornje jure i donje krede, kao i masivni sprudni krečnjaci iste starosti.



Slika 2. Geološka karta šire okoline ležišta krečnjaka Vijenac [9]

Manje učešće imaju tercijarne naslage sa ugljem u području Banovića (sl. 2) [10, 7]. Serpentiniti se pojavljuju kao velika masa koja sa sjevera i istoka okružuje ležište krečnjaka Vijenac. Proces serpentinizacije nije obuhvatio istim intenzitetom cijelu masu, tako da ima i pojava serpentinisanih peridotita [6, 7, 8].

Krečnjačka masa predstavlja horst spuštenog istočnog i zapadnog krila. Južna granica masiva obilježena je nizom vrtača u smjeru istok-zapad. Slojevitost nije jasno izražena, a elementi zalijeganja često se ne mogu izdvojiti zbog različite ispugalosti krečnjaka.

Značajna osobina ovih krečnjaka je izražena karstifikacija i pukotinsko-prslinska ispugalost koja je rezultat egzogenih faktora i višefaznih tektonskih procesa.

Siparišni materijal, kao padinska sekvenca kvartara zastupljen je na strmim odsjecima kopa i ispod upravne zgrade kamenoloma i uglavnom odgovara vještačkim osulinama [10, 6].

Krečnjaci Vijenca leže na serpentinisanim peridotitima i kori raspadanja serpentinita. Zatim slijede bazalne sitnozrne breče (litoklasti gabra, serpentinita, dijabaza i rožnaca). Vezivo breča je željezovito - karbonatno. Debljina ove serije je 2-4 m. Preko ovih breča leže krečnjački breče debljine 2 do 3 metra, a zatim slijede masivni krečnjaci (donji nivo) i sprudni krečnjaci (gornji nivo) [4, 9].

METODE ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA

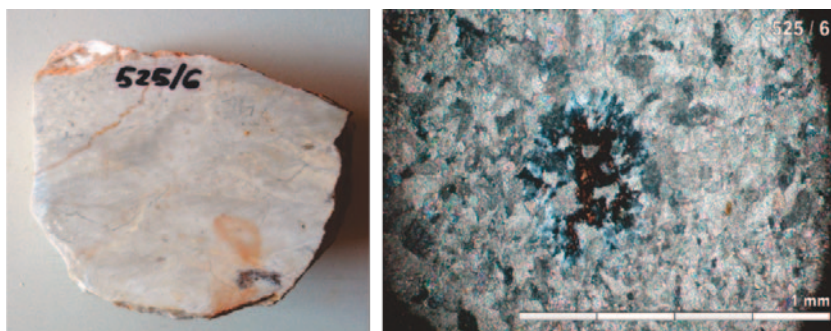
Terenskim aktivnostima na etažama kamenoloma Vijenac, makroskopskom vizualizacijom je uočeno više litoloških varijeteta izdvojenih na osnovu boje, mineralnog sastava, struktura i tekstura. Osim karakterističnih litotipova, mreža uzorkovanja je formirana tako da omogući uvid u prostornu litološku građu. Posebna pažnja je posvećena procesima dekompozicije i dezintergacije predmetnih stijena.

Laboratorijske metode su obuhvatile ispitivanje hemijskog sastava uzoraka stijena metodom ICP/OES-a). Mineralno-petrografska ispitivanja su obavljena u propuštenom polarizovanom svjetlu, a statistički je definisana srednja vrijednost (sr.vr.) i medijana (med.) [2, 10].

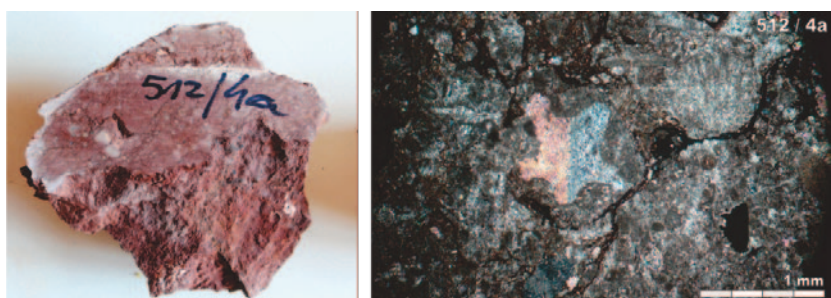
REZULTATI ISPITIVANJA

MINERALNO-PETROGRAFSKA ISPITIVANJA

Na osnovi mineralno-petrografskih analiza ispitivani uzorci krečnjaka odgovaraju u najvećem broju pretaloženim brečama intrabiomikritnog, biomikritnog i sparitnog karaktera [3]. U teksturnom pogledu, krečnjaci Vijenca odgovaraju brečama sa različitim veličinom uklopljenih klasta - fragmenata. Strukturni varijeteti najčešće odgovaraju mikrokristalastim do sitnokristalastim, rjeđe klastičnim i kriptokristalastim varijetetima (sl. 3 i sl. 4).



Slika 3. Makro i mikro fotografije dominirajućeg tipa krečnjaka ležišta krečnjaka Vijenac [1]



Slika 4. Makro i mikro fotografije krečnjaka u u vršnom dijelu ležišta krečnjaka Vijenac [1]

Tabela 1. Mineralno-petrografske analize karbonatnih stijena Vijenca

etaža	br. uzoraka	petro determinacija
500	13	Pretaložena biosparitna i intrabiomikritna breča, mjestimično crveno pigmentisana
512	13	Breča, biomikritna (sa efektima rekristalizacije primarnih biomikritnih klasta), biosparitna, intrabiomikritna (mjestimično crveno pigmentisana, sa obilnom pigmentacijom limonitom i terigenima serpentinita, podređeno kvarcita).
525	14	Pretaložena intrabiomikritna, biomikritna i sparitna breča. Intrabiomikritna breča je sa vezivom od sekundarnih oksida i hidroksida Fe, a biomikritna breča sa efektima resorpcije.
537	4	Pretaložena intrabiomikritna breča.
550	8	Pretaložena biomikritna, intrabiomikritna (sa obilnim pigmentacijom od oksida Fe i čestim kongrecijama oksida Fe) i biosparitna breča.
562	3	Pretaložena biomikritna i oobiomikritna breča.
580	2	Intramikritna breča i pretaložena biosparitna breča.
604	3	Pretaložena biomikritna breča sa obilnom metaličnom mineralizacijom.

Glavni petrogeni minerali je klacit, različitog strukturnog tipa (mikrit, sparit). Izgrađuje preko 95 % stijene (kada su u pitanju stijene sive boje, sl. 3) i oko 85 % (kada su u pitanju crveno pigmentisane, brečoidne stijene, sl. 4). Ukupno je ispitano 60 uzoraka (tabela 1) [1].

Hemijske analize krečnjaka

Zbog velikog obima podataka, rezultati hemijskih analiza krečnjaka su prikazani za 2018. godinu (tabela 2) i prvih sedam mjeseci za 2019. godinu (tabela 3) kao srednje vrijednosti (sr.vr) i medijana (med.) [5].

Tabela 2. Hemijske analize krečnjaka Vijenca za 2018 godinu

mjesec	%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	CaO	MgO	CaSO ₄	Gub.žar.
01	sr. vr.	1.05	0.29	0.23	54.01	54.01	0.61	0.39	42.84
	med.	1.26	0.18	0.22	54.57	54.57	0.46	0.34	42.80
02	sr. vr.	0.62	0.55	0.26	54.25	54.25	0.47	0.35	43.01
	medijana	0.43	0.60	0.18	54.41	54.41	0.29	0.35	43.05
03	sr. vr.	0.62	0.27	0.35	54.27	54.27	0.45	0.32	43.06
	med.	0.46	0.24	0.30	54.35	54.35	0.44	0.29	43.10
04	sr. vr.	0.63	0.23	0.23	54.25	54.25	0.48	0.34	43.14
	med.	0.59	0.22	0.23	54.23	54.23	0.35	0.34	43.09
05	sr. vr.	0.54	0.29	0.33	54.27	54.27	0.42	0.37	43.16
	med.	0.44	0.23	0.30	54.55	54.55	0.43	0.31	43.18
06	sr. vr.	0.51	0.26	0.31	54.21	54.21	0.50	0.39	43.09
	med.	0.46	0.23	0.27	54.20	54.20	0.57	0.37	43.10
07	sr. vr.	0.81	0.28	0.42	54.08	54.08	0.44	0.36	43.06
	med.	0.64	0.21	0.30	53.01	53.01	0.41	0.34	43.10
08	sr. vr.	0.98	0.35	0.39	53.96	53.96	0.51	0.38	42.64
	med.	0.68	0.24	0.26	54.29	54.29	0.42	0.37	42.88
09	sr. vr.	0.58	0.23	0.31	54.21	54.21	0.51	0.50	42.76
	med.	0.66	0.21	0.27	54.20	54.20	0.49	0.41	42.78
10	sr. vr.	0.38	0.18	0.32	54.43	54.43	0.41	0.38	40.85
	med.	0.29	0.18	0.29	54.43	54.43	0.40	0.38	43.18
11	sr. vr.	0.47	0.21	0.38	54.30	54.30	0.46	0.36	43.12
	med.	0.42	0.18	0.29	54.43	54.43	0.47	0.38	43.14
12	sr. vr.	0.43	0.23	0.42	54.29	54.29	0.50	0.35	43.41
	med.	0.42	0.22	0.38	54.33	54.33	0.50	0.34	42.96

Tabela 3. Hemijske analize krečnjaka Vijenca za 2019 godinu

mjesec	%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaSO ₄	gub.žar.
01	sr. vr.	0.51	0.24	0.46	54.26	0.44	0.32	43.05
	med	0.48	0.21	0.40	54.15	0.51	0.32	43.07
02	sr. vr.	0.52	0.22	0.35	54.26	0.48	0.35	42.97
	med	0.51	0.20	0.29	54.37	0.41	0.34	43.02
03	sr. vr.	0.47	0.26	0.38	54.40	0.39	0.32	43.00
	med	0.43	0.21	0.30	54.46	0.38	0.33	43.10
04	sr. vr.	0.49	0.23	0.32	54.35	0.45	0.37	42.93
	med	0.40	0.20	0.30	54.43	0.45	0.35	43.11
05	sr. vr.	0.42	0.27	0.27	54.45	0.38	0.36	43.08
	med	0.43	0.26	0.24	54.44	0.39	0.36	43.22
06	sr. vr.	0.42	0.30	0.33	54.29	0.43	0.35	42.92
	ed	0.40	0.27	0.30	54.45	0.43	0.38	42.91
07	sr. vr.	0.35	0.22	0.25	54.55	0.36	0.39	43.17
	med	0.33	0.19	0.22	54.60	0.35	0.38	43.20

Sadržaj Ca i Mg karbonata je izračunat na osnovu vrijednosti oksida Ca i Mg i prikazan je u tabeli 4, [5].

Tabela 4. Sadržaj Ca i Mg karbonata u krečnjacima Vijenca

Sadržaj CaCO ₃ (%), 2018. godina												
mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
sr vr	96.5	96.9	96.9	96.9	96.9	96.8	96.6	96.4	96.8	97.2	96.9	96.9
med	96.7	97.2	97.0	96.9	97.0	97.0	96.8	96.9	96.8	97.2	97.2	97.0
Sadržaj CaCO ₃ (%), 2019. godina												
mjesec	1	2	3	4	5	6	7					
sr vr	96.9	96.9	97.2	91.6	97.2	96.9	97.4					
med	96.9	97.1	97.3	97.2	97.2	97.2	97.5					
Sadržaj MgCO ₃ (%), 2018. godina												
mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
sr vr	1.26	0.98	0.93	1.00	0.87	1.03	0.92	1.07	1.07	0.84	0.96	1.04
med	1.07	0.95	0.92	0.95	0.89	0.98	0.86	0.96	1.02	0.84	0.90	1.05
Sadržaj MgCO ₃ (%), 2019. godina												
mjesec	1	2	3	4	5	6	7					
sr vr	0.92	1.01	0.82	0.93	0.79	0.89	0.76					
med	0.90	0.89	0.79	0.93	0.81	0.89	0.73					

DISKUSIJA

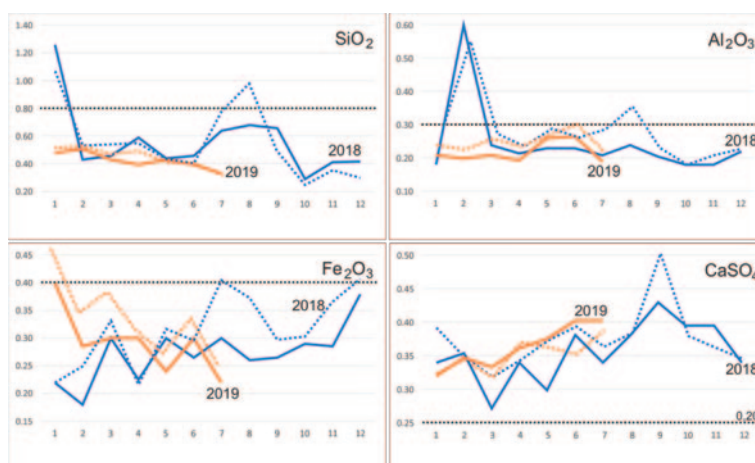
INDUSTRIJA SODE

Zahtijevani kvalitet krečnjaka u fabrici sode Lukavac (SSL) se određuje prema internom standardu (tabela 5):

Tabela 5. Interni standard za karbonatne stijene u SSL

CaCO ₃	min. 96,0 %	SiO ₂	max. 0,80 %
MgCO ₃	max. 2,0 %	Fe ₂ O ₃	max. 0,40 %
CaSO ₄	max. 0,2 %	Al ₂ O ₃	max. 0,30 %
netopivo	max. 0,3 %		

Koncentracije oksida Si, Al, Fe i Ca-sulfata krečnjaka Vijenca su prikazane kroz srednju vrijednost i medijanu (sl. 5). Povišeni sadržaj srednjih vrijednosti SiO₂ (iznad 0,80 %) je zabilježen u prvom, sedmom i osmom mjesecu 2018. godine. U ostalim mjesecima 2018. i 2019. godine sadržaji SiO₂ su ispod limita koji ograničava upotrebu u industriji sode. Koncentracija srednjih vrijednosti SiO₂ se kreće u rasponu 0,35 - 1,05 %, prosječno 0,57 %. Povišeni sadržaj srednjih vrijednosti i medijane za Al₂O₃ (iznad 0,30 %) je zabilježen u drugom mjesecu 2018. godine i blago u osmom mjesecu iste godine. Koncentracija srednjih vrijednosti Al₂O₃ se kreće u rasponu 0,18 - 0,55 %, prosječno 0,27 %. Koncentracije Fe₂O₃ su u graničnim vrijednostima, sa vrlo malim odstupanjima, srednje vrijednosti se kreću u rasponu 0,23 - 0,46 %, prosječno

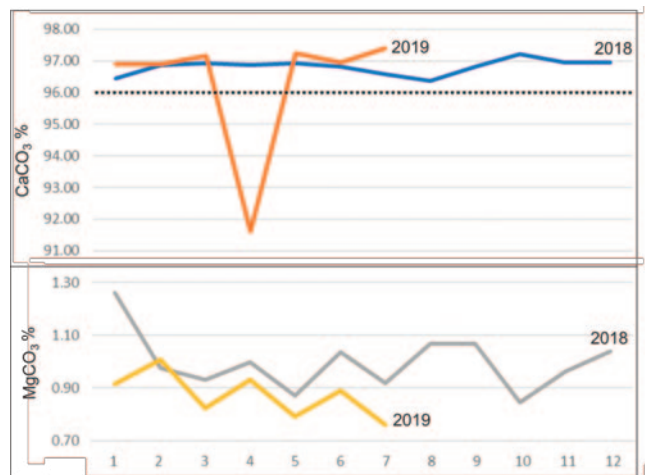


Slika 5. Srednje vrijednosti (isprekidana linija) i medijane (puna linija) za okside i sulfate krečnjaka Vijenca sukladno standardima SSL

0,30 %. Za sve vrijednosti CaSO_4 je karakteristično povećanje vrijednosti iznad graničnih (0,20 %), srednje vrijednosti se kreću u rasponu 0,32 - 0,56 %, prosječno 0,36 %.

Sadržaj Ca i Mg karbonata je izračunat stehiometrijski iz koncentracija CaO i MgO (sl. 6). Koncentracija srednjih vrijednosti CaCO_3 se kreće u rasponu 88,20 - 98,00 %, prosječno 96,56 %. MgCO_3 se kreće u rasponu 0,76 - 1,26 %, prosječno 0,94 %.

Sadržaj karbonata zadovoljava uslove primjene u proizvodnji sode. U aprilu 2019. godine, srednja vrijednost Ca karbonata je iznosila 91,61 %, što je ispod limitirane vrijednosti (96 %).



Slika 6. Srednje vrijednosti karbonata Ca i Mg u krečnjacima Vijenca

INDUSTRIJA CEMENTA

Za proizvodnju cementa upotrebljava se više vrsta mineralnih sirovina, od kojih su primarni krečnjak i lapor, zatim glina, pijesak, tufovi, boksit, rude željeza, gips i dr.

Može se koristiti i industrijski otpad poput talioničke troske i letećeg pepela.

Fabrika cementa u Lukavcu (FCL) posjeduje interni standard kvaliteta ulazne sirovine krečnjaka (tabela 6).

Tabela 6. Interni standard za karbonatne stijene u FCL

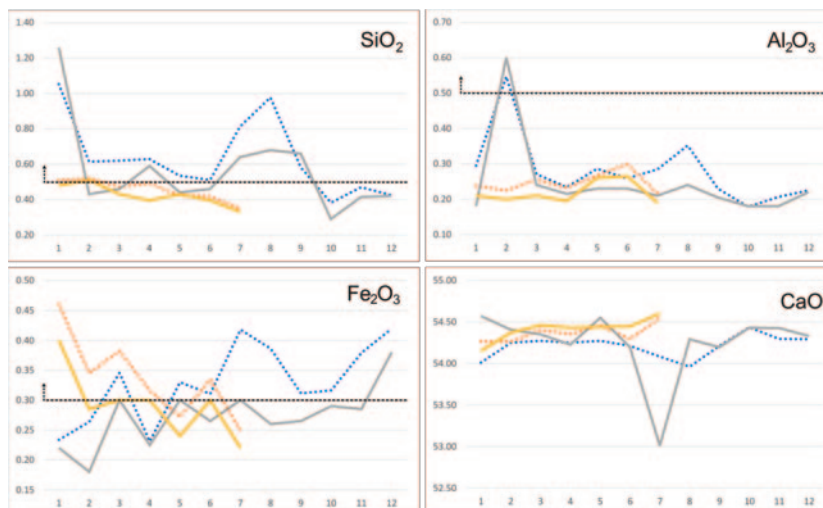
SiO_2	0,5 – 3,0 %
Al_2O_3	0,5 – 1,5 %
Fe_2O_3	0,3 – 1,5 %
CaO	52,0 – 55,0 %
MgO	do 0,75
CaCO_3	do 92,0 %

Niže vrijednosti SiO_2 od limitiranih (ispod 0,50 %) su zabilježene u šest mjeseci 2018. godine i skoro za narednih sedam mjeseci 2019. godine (blago sniženo). Koncentracija srednjih vrijednosti SiO_2 se kreće u rasponu 0,35 - 1,05 %, prosječno 0,57 %.

Limitirani sadržaj srednjih vrijednosti i medijane za Al_2O_3 (iznad 0,50 %) je zabilježen samo u drugom mjesecu 2018. godine. Koncentracija srednjih vrijednosti Al_2O_3 se kreće u rasponu 0,18 - 0,55 %, prosječno 0,27 %.

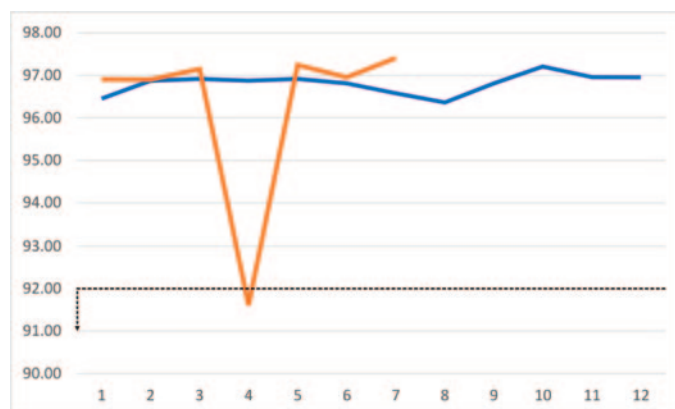
Koncentracije Fe_2O_3 su graničnim vrijednostima, sa vrlo manjim odstupanjima. Koncentracija srednjih vrijednosti Fe_2O_3 se kreće u rasponu 0,23 - 0,46 %, prosječno 0,30 %. Niže vrijednosti se odnose uglavnom na 2019. godinu.

Sve koncentracije CaO su u granicama internog standarda za FCL (sl. 7).



Slika 7. Srednje vrijednosti (isprekidana linija) i medijane (puna linija) za okside krečnjaka Vijenca sukladno internom standardu FCL

Srednji sadržaj Ca karbonata ne zadovoljava uslove primjene u proizvodnji cementa, povišen je. Jedino u aprilu 2019. godine, srednja vrijednost Ca karbonata je iznosila 91,61 %, što ispunjava limitirane vrijednosti (do 92 %), sl. 8.



Slika 8. Srednje vrijednosti (isprekidana linija) i medijane (puna linija) za CaCO_3 u krečnjacima Vijenca sukladno internom standardu FCL

ZAKLJUČAK

Na osnovi mineralno-petrografskih analiza krečnjaci Vijenca odgovaraju pretaloženim intrabiomikritima do oobiomikritima i biomikritima, teksturno brečasti i strukturno mikrokristalasti do sitnokristalasti.

Definisanje štetnih komponenti u proizvodnji cementa i sode, po pitanju mineralno-petrografskog sastava krečnjaka još uvijek nije definisano ni jednim zakonskim aktom. Uglavnom se vrši korelacija sa hemijskim sastavom koji limitira pojedine okside, karbonate i sulfate putem internih standarda, kao što je to slučaj u fabrici sode (SSL) i cementa u Lukvacu (FCL).

Analizom rezultata hemijskih analiza krečnjaka, u pogledu proizvodnje sode, manja odstupanja od internog standarda su zabilježena kod SiO_2 , Al_2O_3 i CaCO_3 . Povišene vrijednosti (iznad limita) su karakteristične za Ca sulfat. Za proizvodnju cementa, odstupanja od internog standarda su zabilježena kod Al_2O_3 i Fe_2O_3 (niske vrijednosti) i CaCO_3 (povišene vrijednosti).

Analizom prostorne distribucije litotipova karbonatnih stijena Vijenca, selektivnom eksploatacijom i kroz procese pripreme mineralne sirovine može se uticati na hemijski sastav stijena i isti približiti internim standardima u proizvodnji sode i cementa.

Povišeni sadržaji Fe_2O_3 i Al_2O_3 i Si mineralizacija su karakteristični za brečoidne stijene, crvenkaste boje. Ovakvi litotipovi karbonatnih stijena su prostorno distribuirani u vršnim dijelovima PK, u rasjednim zonama i zonama karstifikacije. Na osnovi ovih zapažanja potrebno je i prilagoditi proces eksploatacije koji se ogleda u „razblaživanju“ ili „obogaćivanju“ mineralne sirovine navedenim komponentama, odnosno prilagođavanju iste potrebama fabrike sode ili cementa. Takođe je potrebno voditi računa o godišnjem dobu i padavinama. Naime, za vrijeme padavina i u hladnijem periodu, jalovinsko-glinoviti materijal se teško odvaja od matične stijene, te je i ovo jedan od razloga kontaminacije krečnjaka alumosilikatima.

LITERATURA

1. Babajić, E.: Izveštaj o mineralno-petrografskim i hemijskim analizama uzoraka stijena sa PK rudnika krečnjaka „Vijenac“ – Lukavac. 2012. RGGF Tuzla.
2. Bland, J.M. and Altman, D.G.: Statistics notes: measurement error. 1996.
3. Folk, R.: Klasifikacija karbonatnih i klastičnih stijena, Geološki glasnik br. 13, prevod: Pamić, J., & Sijerčić, Z., 1969. Sarajevo.
4. Hrvatović, H., Đulović, I.: Transgresivne formacije u ofiolitnoj zoni Dinarida Bosne i Hercegovine. Zbornik radova RGGF-a, Univerziteta u Tuzli. Broj XXIX-I, str. 61-67. 2005, Tuzla
5. Nuhić, M.: Karbonatne stijene pk „Vijenac“ kod Lukavca kao ulazne sirovine u industriji sode i cementa. 2020. Master rad, RGGF Univerziteta u Tuzli.
6. Pamić, J., Sunarić-Pamić, O., Kapeler, I. i Olujić, J.: Tumač za osnovnu geološku kartu, list Zavidovići 1:100 000. Institut za geološka istraživanja, 1973. Sarajevo.
7. Pamić, J.: Magmatske formacije Dinarida, Vardarske zone i južnih dijelova Panonskog bazena, Nafta, 225 pp., 1996. Zagreb.
8. Pamić, J.: Magmatske i tektonske strukture u ultramafitima bosanske serpentinske zone. Posebna izdanja geološkog glasnika; Knjiga 2. Geološki Zavod u Sarajevu. 1964. Sarajevo.
9. Rabrenović, D.: Baremski krečnjaci kod Banovića i njihov značaj za odredbu starosti „Pogarske serije“. Geološki anali Balkanskog poluostrva. Knjiga XLIX, str. 261-269. 1985, Beograd.
10. Serdar, V. i Šošić, I.: Uvod u statistiku. Školska knjiga, 2000. Zagreb.
11. Sunarić-Pamić, O., Pamić, J., Kapeler, I., Olujić, J. i Zec, F.: Osnovna geološka karta SFRJ, list Zavidovići, 1: 100 000, Institut za geološka istraživanja, 1962-65. Sarajevo.

PROTOK VODE U TRAPEZONOM KANALU U FUNKCIJI RAZLIČITIH HRAPAVOSTI

Nedim Suljić¹

SAŽETAK

U radu su prikazane hidrauličke analize protoka vode trapeznog otvorenog kanala pod uticajem različitih vrijednosti hrapavosti. Razmatran je trapezni poprečni presjek otvorenog kanala nagiba kosina od 45o i širine dna kanala od 1,0 m. Analizirana su tri slučaja završne obrade kanala u funkciji Mannigovog koeficijenta hrapavosti (n) i to za betonski kanal, kanal izveden u zbijenoj glini pokriven isprekidanim slojem mulja i kanal u vrlo lošem stanju sa krupnim kamenjem na dnu obrastao vegetacijom. Podužni pad kanala za sve analizirane slučajeve iznosi 1%. Za potrebe ovog rada urađen je hidraulički proračun za jednoliko stacionarno tečenje trapeznog poprečnog presjeka kanala. Manju protočnost u kanalu daju veći koeficijenti hrapavosti i obrnuto. Prilikom dimenzioniranja kanala potrebno je odabrati odgovarajuću završnu obradu kanala sa aspekta propusne moći kao i brzina tečenja vode.

Cljučne riječi: trapezni kanal, protok vode, hrapavost kanala, stacionarno tečenje..

1. UVOD

U građevinskoj hidrotehničkoj praksi se tečenje u otvorenim kanalima promatra u odnosu na promjenu oblika vodnog lica kao i promjene brzine i dubine vode u vremenu. U funkciji oblika vodnog lica tečenje u otvorenim koritima se dijeli na jednoliko i nejednoliko., a u odnosu na promjenu brzine i dubine vode u vremenu razlikujemo stacionarna i nestacionarna tečenja. Ako se brzina tečenja vode ne mijenja u funkciji vremena, onda je tečenje stacionarno, u suprotnom se radi o nestacionarnom tečenju. Stacionarna tečenja mogu biti jednolika ili nejednolika. Jednoliko tečenje predstavlja tečenje koje duž cijelog svog toka ima iste karakteristike. Jednoliko tečenje se može javiti samo u prizmatičnim kanalima, odnosno. u kanalima koja imaju konstantan pad i konstantan poprečni presjek. Ovaj rad analizira stacionarno jednoliko tečenje trapeznog otvorenog kanala sa istom geometrijom poprečnog presjeka kanala, istim podužnim padom kanala i sa tri različite hrapavosti. Na osnovu hidrauličkog proračuna dobijeni su protoci i brzine vode te njihove funkcije koje pokazuju odnose protoka i brzine vode u trapeznom kanalu različitih hrapavosti [2] [4].

2. STACIONARNO JEDNOLIKO TEČENJE I HRAPAVOST KANALA

Da bi se ostvarilo jednoliko stacionarno tečenje potrebno je da postoji stalan protok vode u kanalu ($Q=\text{const}$), isti poprečni presjek kanala ($A=\text{const}$), isti hidraulički pad ($I=\text{const}$), ista hrapavost obrade kanala ($n=\text{const}$) i tečenje bez lokalnih otpora. Kanal sa nepromjenjenim poprečnim presjeka na promatranoj dionici naziva se prizmatičan kanal, a dubina vode koja se ostvaruje u kanalu uz nepromjenjiv protok i zadati podužni pad, naziva se normalna dubina [1].

¹ Prof. Nedim Suljić, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Univerzitet u Tuzli. Urfeta Vejzagića 2. Tuzla, Bosna i Hercegovina, edim.suljic567@gmail.com ; nedim.suljic@untz.ba

Kod stacionarnog tečenja, kakvo se razmatra u ovom radu, može se napisati:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad Q = \text{const.} \quad (1)$$

Kod jednolikog tečenja srednja brzina kao i proticaj su konstantni, a linija energije je paralelna sa slobodnom površinom tečnosti u otvorenom kanalu i paralelna sa dnom kanala. Odnosno, svi padovi između dva presjeka kod otvorenog kanala međusobno su jednaki ($I_d = I = I_E$) [1] [6].

Kod otvorenih kanala možemo koristeći Bernoullievu jednačinu opisati jednoliko tečenje na gotovo potpuno isti način kao što je kod tečenja u cijevima. Razlika je u tome što kod jednolikog tečenja u otvorenim kanalima nema lokalnih gubitaka već imamo samo gubitke na trenje prilikom tečenja, odnosno:

$$\Delta H_{lin} = \Delta H_{trenje} = I_E \cdot \Delta L = c_f \frac{\Delta L}{R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

$$I_E = \frac{\Delta H_{trenje}}{\Delta L} = \frac{c_f}{2g} \cdot \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Veličina c_f je koeficijent otpora trenja. Na osnovu izraza (3) može se odrediti brzina tečenja u otvorenom kanalu sa jednolikim tečenjem:

$$c_f \cdot v^2 = 2gRI_E \Rightarrow v^2 = \frac{2gRI_E}{c_f} \quad (4)$$

$$v = \sqrt{\frac{2gRI_E}{c_f}} \quad (5)$$

$$\sqrt{\frac{2g}{c_f}} = C \quad (6)$$

$$v = C\sqrt{RI_E} \quad (7)$$

Izraz (7) predstavlja Chezyevu formulu za brzinu u otvorenom kanalu u slučaju jednolikog tečenja. Broj C je Chezyev broj koji zavisi od hrapavosti površine otvorenog kanala i od Reynoldsovog broja. Pošto broj C nije konstantna veličina, razni istraživači su dali njegove aproksimacije pomoću nekih uglavnom jednostavnih funkcija. Neki istraživači su na osnovu iskustava dali empirijske izraze za Chezyev broj C tako da ti izrazi se i danas koriste u mehanici fluida kod jednolikog tečenja u otvorenim kanalima [1] [3]. Izraz koji je predložio Manning (1890) se i danas uglavnom koristi u slijedećem obliku:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (8)$$

gdje je;

n – Manningov koeficijent hrapavosti ($m^{-1/3s}$),

R – hidraulički radijus (m).

Prirodna riječna korita imaju nepravilne oblike poprečnih presjeka, promjene nagiba dna te vijugavosti ose vodotoka. Kod prirodnih korita se uzdužni profil vodene površine neprestano mijenja. Takođe, česte su promjene hidrauličkih parametara duž toka rijeke [2] [5].

Uobičajne vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti date su tabelarno u literaturi iz oblasti otvorenih kanala, a bitno je napomenuti da greška u mjerenju i računanju protoka je direktno proporcionalna greškom odabira vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti za određene otvorene kanale.

3. TEČENJE U TRAPEZNOM KANALU RAZLIČITIH HRAPAVOSTI

Primjenom Manningovog izraza proveden je hidraulički proračun za određivanje protoka u kanalu trapeznog poprečnog presjeka širine dna kanala 1,0 m i podužnog pada kanala od 1%, dok je koeficijent hrapavosti promjenjiv. Analizirana su tri slučaja završne obrade trapeznog kanala, i to: betonska obloga ($n=0,014$ m-1/3s), kanal u zbijenoj glini pokriven isprekidanim slojem mulja ($n=0,0225$ m-1/3s) i kanal u veoma lošem stanju obrastao vegetacijom i sa krupnim kamenjem na dnu ($n=0,055$ m-1/3s). U provedenim proračunima dubina vode u kanalu se kretala od 0,5 m do 1,5 m sa korakom od 0,1 m. Za sve analizirane slučajeve mijenjala se brzina tečenja vode i protok vode u trapeznom kanalu.

Rezultati hidrauličkog proračuna prikazani su u slijedećim tabelama:

Tabela 1. Rezultati hidrauličkog proračuna trapeznog kanala za Manningov koeficijent hrapavosti $n=0,014$ m-1/3s (betonska obloga)

h_i (m)	F_i (m ²)	O_i (m)	R_i (m)	v_i (m/s)	Q^i (m ³ /s)
0,50	0,75	2,41	0,31	3,28	2,46
0,60	0,96	2,70	0,36	3,59	3,44
0,70	1,19	2,98	0,40	3,87	4,61
0,80	1,44	3,26	0,44	4,14	5,96
0,90	1,71	3,55	0,48	4,39	7,51
1,00	2,00	3,83	0,52	4,63	9,27
1,10	2,31	4,11	0,56	4,86	11,24
1,20	2,64	4,39	0,60	5,09	13,43
1,30	2,99	4,68	0,64	5,30	15,85
1,40	3,36	4,96	0,68	5,51	18,51
1,50	3,75	5,24	0,72	5,71	21,42

Tabela 2. Rezultati hidrauličkog proračuna trapeznog kanala za Manningov koeficijent hrapavosti $n=0,0225$ m-1/3s (kanal u zbijenoj glini pokriven isprekidanim slojem mulja)

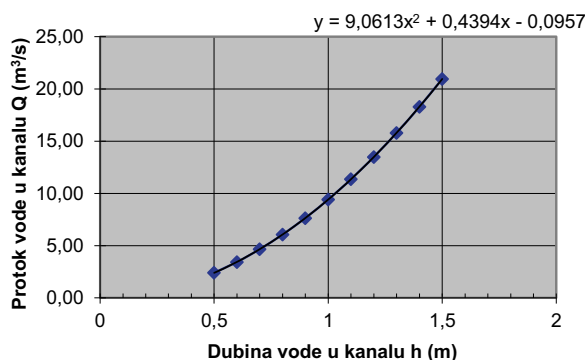
h_i (m)	F_i (m ²)	O_i (m)	R_i (m)	v_i (m/s)	Q^i (m ³ /s)
0,50	0,75	2,41	0,31	2,04	1,53
0,60	0,96	2,70	0,36	2,23	2,14
0,70	1,19	2,98	0,40	2,41	2,87
0,80	1,44	3,26	0,44	2,58	3,71
0,90	1,71	3,55	0,48	2,73	4,67
1,00	2,00	3,83	0,52	2,88	5,77
1,10	2,31	4,11	0,56	3,03	6,99
1,20	2,64	4,39	0,60	3,16	8,35
1,30	2,99	4,68	0,64	3,30	9,86
1,40	3,36	4,96	0,68	3,43	11,52
1,50	3,75	5,24	0,72	3,55	13,33

Tabela3. Rezultati hidrauličkog proračuna trapeznog kanala za Manningov koeficijent hrapavosti $n=0,055 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$ (kanal u vrlo lošem stanju sa krupnim kamenjem na dnu i obrastao vegetacijom)

h_i (m)	F_i (m ²)	O_i (m)	R_i (m)	v_i (m/s)	Q^i (m ³ /s)
0,50	0,75	2,41	0,31	0,83	0,63
0,60	0,96	2,70	0,36	0,91	0,88
0,70	1,19	2,98	0,40	0,99	1,17
0,80	1,44	3,26	0,44	1,05	1,52
0,90	1,71	3,55	0,48	1,12	1,91
1,00	2,00	3,83	0,52	1,18	2,36
1,10	2,31	4,11	0,56	1,24	2,86
1,20	2,64	4,39	0,60	1,29	3,42
1,30	2,99	4,68	0,64	1,35	4,03
1,40	3,36	4,96	0,68	1,40	4,71
1,50	3,75	5,24	0,72	1,45	5,45

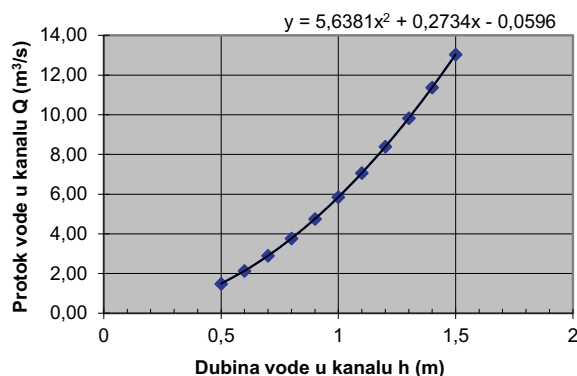
Na sljedećim slikama prikazane su krive protoka vode u trapeznom kanalu širine dna 1,0 m i podužnog pada od 1% za različite vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti i dubine vode od 0,5 m do 1,5 m. Poseban značaj su kvadratne funkcije dobijenih krivih – odnos protoka vode u ovisnosti od dubine vode u trapeznom kanalu, što predstavlja matematsku funkciju trapeznog kanala datih karakteristika i odgovarajuće hrapavosti, odnosno Manningovog koeficijenta hrapavosti. Dobijene kvadratne funkcije su polinomske funkcije drugog stepena.

Trapezni kanal ($n=0,014 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$) - (Q-h kriva)

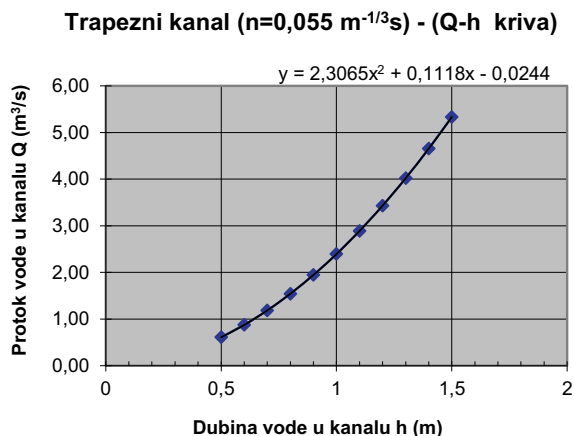


Slika 1. Kriva protoka u trapeznom kanalu za $n=0,014 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$

Trapezni kanal ($n=0,0225 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$) - (Q-h kriva)



Slika 2. Kriva protoka u trapeznom kanalu za $n=0,0225 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$



Slika 3. Kriva protoka u trapeznom kanalu za $n=0,055 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$

4. ZAKLJUČCI

Rad analizira protok vode u otvorenom kanalu trapeznog poprečnog presjeka u ovisnosti od hrapavosti obloge kanala. Razmatrana su tri slučaja hrapavosti kanala uzimajući u obzir Mannigov koeficijent hrapavosti. Kod svih analiziranih slučaja ista je geometrija poprečnog presjeka i isti podužni pad trapeznog kanala ($I=1\%$). Za tri različita slučaja hrapavosti kanala (betonska obloga, kanal u zbijenoj glini pokriven isprekidanim slojem mulja i kanal u vrlo lošem stanju sa krupnim kamenjem na dnu obrastao vegetacijom) dobijene su vrijednosti brzine tečenja i protoka vode. Razmatrana je dubina vode u kanalu od 0,5 m do 1,5 m sa korakom od 0,1 m. Zbog iste geometrije poprečnog presjeka trapeznog kanala i istih dubina vode, kod analiziranih primjera imamo istu površinu poprečnog presjeka kanala, isti okvašeni obim i isti hidraulički radijus, a promjenjive se brzina tečenja i protok vode.

Na osnovu provedenih proračuna može se zaključiti da za date uslove tečenja i date parameter trapeznog kanala, protok vode u kanalu sa betonskom oblogom je za 60,7 % veći nego kod kanala od zbijene gline pokrivenog isprekidanim slojem mulja. Ovaj odnos je isti za sve analizirane dubine vode u trapeznom kanalu. Takođe, protok vode u kanalu sa betonskom oblogom je za 3,9 puta veći od protoka vode u kanalu koji je u vrlo lošem stanju sa krupnim kamenjem na dnu.

U radu su date matematske funkcije promjene protoka u odnosu na dubinu vode u trapeznom kanalu širine dna kanala 1,0 m, nagiba kosina od 45o i podužnog pada 1%.

LITERATURA

1. Suljic, N., Hydrotechnics - solved tasks and theoretical bases. University of Tuzla, Tuzla (2018)
2. Kolar, I. Analiza različitih oblika poprečnih presjeka te vrste obloge na protočnost vodotoka/kanala. Završni rad. Sveučilište u Rijeci, građevinski fakultet (2018)
3. Suljic, N. Fundamentals of hydromechanics-the theory and tasks. University of Tuzla, Tuzla (2014)
4. Žic, E. Analiza koeficijenta hrapavosti na primjeru kanala Butonige u Istri. Magistarski rad. Sveučilište u Rijeci. Građevinski fakultet. (2009)
5. Shaughnessy, E.J., Katz, I.M., Schaffer, J.P. Introduction to Fluid Mechanics. Oxford University. Oxford. (2005)
6. Jović, V. Osnove hidromehanike. 1. izdanje. Zagreb: ELEMENT (2006)

MINIMALNA ENERGIJA UPALE OBLAKA PRAŠINE LIGNITA I MRKIH UGLJEVA KOD UGLJA SA I BEZ MEĐUSLOJEVA

Jelena Marković¹, Snežana Mičević², Mevludin Delalić³, Edisa Nukić⁴

SAŽETAK

Ovaj rad daje pregled ispitivanja minimalne energije paljenja (MIE) oblaka prašine mrkog uglja i lignita, kao i uticaj svih relevantnih parametara na energiju paljenja uzoraka uglja prikupljenih iz bosansko-hercegovačkih rudnika. Ispitivanja su provedena za dvije vrste ispitnih uzoraka i to: uzorci uglja iz cijelog profila jamske prostorije (ugalj iz sloja) i uzorci čistog uglja bez međuslojeva (čist ugalj).

Rezultati istraživanja pokazuju da stepen karbonizacije uglja značajno utiče na vrijednost energije potrebne za upalu oblaka prašine, te da vrijednosti MIE uzoraka iz istog ugljenog sloja variraju od lokacije do lokacije zbog neujednačenog hemijskog i mineralno-petrografskog sastava uglja u jednom ležištu.

Ispitivanjima na uzorcima prašine u dostavnom stanju utvrđeno je da je pri sadržaju vlage ≥ 33 % m/m vrlo teško postići lebdivost, a time i dobiti energiju pri kojoj bi se oblak prašine upalio. Iz tog razloga, ispitivanja su vršena i na osušenim uzorcima.

Najniže vrijednosti MIE kod ispitnih uzoraka „čist ugalj“ i „ugalj iz sloja“, s vlagom u dostavnom stanju iznose između:

- 30,2 mJ < MIE < 35,4 mJ; odnosno 55,7 mJ < MIE < 77,3 mJ za prašinu lignita, i
- 1650 mJ < MIE < 1870 mJ; odnosno 2030 mJ < MIE < 2304 mJ za prašinu mrkog uglja.

Utvrđena je varijacija smanjenja MIE sa snižavanjem vlažnosti u ispitnim uzorcima do 15% m/m, nakon čega uticaj vlage znatno slabi.

Ključne riječi: minimalna energija paljenja (MIE), mrki ugalj, lignit, ispitni uzorak sadržaj vlage.

UVOD

Minimalna energija upale oblaka ugljene prašine važan je parametar za procjenu rizika od eksplozije iste. Važnost ovog parametra ogleda se u sposobnosti procjene upale eksplozivne smjese isključivo određene energije čiji uzrok mogu biti instalirani električni ili mehanički uređaji u datom tehnološkom procesu u kojem se pojavljuju eksplozivne smjese janskog gasa i/ili ugljene prašine u smjesi s vazduhom.

Veličina MIE potrebna za upalu ugljene prašine utiče na tok i razvoj eksplozije. Niz je važnih parametara koji utiču na njenu vrijednost: stepen karbonizacije uglja, sadržaj vlage, sadržaj inertne materije, sadržaj volatila, mineralno petrografski sastav prašine, koncentracije prašine i raspodjela veličine čestica i sl. [1] [3] [6] [9] [10].

Wang i sar. [10] ispitivali su razlike u osjetljivosti na paljenje i karakteristike jačine eksplozije među različitim vrstama ugljene prašine. Razmatrajući rezultate dobivene tim istraživanjem autori utvrđuju da su glavni uzroci tih razlika sadržaj volatila i pirolitička svojstva uglja. Uzorak uglja koji ima visok udio volatila i lakše se pirolizira ima nižu MIE i MIT (minimalna temperatura upale oblaka prašine), oblak prašine se lakše zapali i plamen se brže razvija na početku eksplozije. Ako se pogleda sadržaj volatila u lignitima i mrkim ugljevima BIH uočava se da je i u jednim i drugima visok i kreće se iznad 50% i više.

¹ Prof. Jelena Marković, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet. Univerzitet u Tuzli. Urfeta Vejzagića 2, Tuzla, Bosna i Hercegovina, jelena.markovic@untz.ba

² Prof. Snežana Mičević, Association-AtEx, Tuzla, Bosna i Hercegovina, snezana.micevic@atex.ba

³ Mevludin Delalić, Association-AtEx, Tuzla, Bosna i Hercegovina, dine.delalic@gmail.com

⁴ Doc. Edisa Nukić, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet. Univerzitet u Tuzli. Urfeta Vejzagića 2, Tuzla, Bosna i Hercegovina, edisa.nukic@untz.ba

Utjecajem inertizacije prašine na MIE i MIT za različite zapaljive prašine bavili su se Addai i sar. [1]. Autori iznose mišljenje da se povećanjem koncentracije inertne materije u smješi inertna-zapaljiva prašina povećavaju oba parametra sve dok se ne postigne prag (između 60 i 80%) u kojem izostaje paljenje. Eksperimentalnim ispitivanjima osjetljivosti na paljenje hibridnih smjesa prašine uljnih škrljaca i sintetskog plina bavili su se L.F.Yu i sar. [6]. Norman i sar. [9] ispitivali su karakteristike osjetljivosti na paljenje i karakteristike jačine eksplozije ugljene prašine u zraku i atmosferi obogaćenoj kisikom. Razmatrajući rezultate istraživanja autori uviđaju da se osjetljivost na paljenje u smjesi od 30 vol.% O₂ u CO₂ dobro podudara s osjetljivošću na paljenja u zraku, dok se u smjesi od 50 vol.% O₂ u CO₂ energija paljenja značajno smanjuje.

MATERIJALI I METODE

Metodologija ispitivanja

Ispitivanja minimalne energije paljenja smješe ugljena prašina vazduh (oblaka prašine) izvršena su u skladu sa standardima ISO/IEC, na uređaju po Hartmanu, prema propisanoj proceduri [4] [5].

Hartmanova cijev je vertikalna staklena cijev zapremine 1,2 l i unutrašnjeg promjera 70 ± 5 mm, na dnu zatvorena tasom za disperziju prašine. Postupak ispitivanja je takav da se ispitni uzorak (koncentracije obično 250 g/m³, 500 g/m³, 750 g/m³, 10⁰⁰ g/m³ i 1500 g/m³) stavi na tas i raspršuje pri eksploziji sa komprimiranim vazduhom (zapremine 50 cm³ i pritisku 700 do 800 kPa). Tokom ispitivanja mijenja se veličina energije upale, masa ispitivane prašine i vremenski razmak između raspršavanja prašine i stvaranja iskre. Maksimalna energija koju ispitna aparatura može postići u eksperimentu je 7220 mJ.

Pri određivanju koncentracije prašine pri kojoj će se postići optimalni uslovi paljenja za dati ispitivani uzorak imao se u vidu raspon koncentracija blizak posmatranim maksimumima p_{max} ; $(dp/dt)_{max}$, utvrđen prethodnim ispitivanjima u sferičnoj posudi od 20 l (Marković i sar. 2015; 2017) [7] [8].

Prilikom ispitivanja ispitnih uzoraka lignita i mrkog uglja uočene su razlike u intenzitetu i dužini trajanja plamena, odnosno brzini prenosa plamena nakon iniciranja električnom iskrom. Kod lignitne prašine, plamen je u principu intenzivniji i obično se prenese na kompletan oblak uskovitlane prašine što nije slučaj kod prašine mrkog uglja.

Karakteristike ispitivanih uzoraka prašine

Uzorci uglja za ispitivanje MIE uzeti su u skladu sa standardom [2], iz pet ugljenih slojeva u rudnicima lignita i osam ugljenih slojeva u rudnicima mrkog uglja. Uz kompozitne uzorke uzete metodom brazde (oznaka „ugalj iz sloja“) provedena su i ispitivanja na uzorcima uglja bez međuslojeva (oznaka „čist ugalj“). Prije početka ispitivanja pripremljeni su uzorci (mljevenje, prosijavanje, sušenje, imedijatna analiza, elementarna analiza, mineralno petrografska analiza).

Minimalna energija upale, između ostalih parametara, uslovljena je veličinom čestica prašine i sadržajem vlage. Ispitivanja su provedena na uzorcima <63 μm sa izvornim sadržajem vlage (dostavno stanje) i bez grube vlage, budući da je otežano lebdenje uzoraka prašine i nastajanje finog disperznog sistema sa dostavnom vlagom, slika 3.

Toplotna vrijednost uzorkovanog uglja iznosi za lignit od 9.887- 16.827 kJ/kg, a za mrki ugalj od 12.304 do 23.996 kJ/kg.

Tabela 1. Imedijatna analiza uzorka prašine lignita [3]

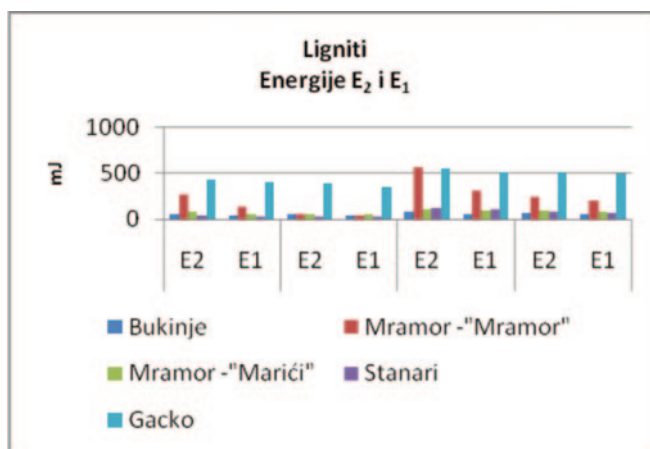
Imedijatna analiza		LIGNITI				
%m/m	Uzorak	Bukinje	Mramor	Marići	Gacko	Stanari
Ukupna vlaga	Dostavno stanje	26,43	27,13	30,78	39,0	46,56
	Osušen	6,40	3,61	6,81	7,86	5,57
Pepeo	Dostavno stanje	9,77	11,37	7,43	6,19	10,04
	Osušen	13,43	15,04	5,41	17,31	9,58
Sagoriva materija	Dostavno stanje	63,80	61,50	61,79	54,81	43,40
	Osušen	80,17	81,35	87,77	74,83	84,85
Isparljivo	Dostavno stanje	33,70	34,91	31,50	30,16	26,19
	Osušen	42,88	46,18	43,80	45,16	46,69
Volatili	Dostavno stanje	52,82	56,76	50,98	55,03	60,35
	Osušen	53,49	56,77	49,90	60,35	55,03
Sadržaj fiksnog ugljika	Dostavno stanje	30,11	26,59	30,29	24,65	17,21
	Osušen	38,30	35,17	43,97	29,67	38,16
Koksni ostatak	Dostavno stanje	39,87	37,96	37,72	30,84	27,25
	Osušen	50,73	50,21	49,38	46,98	47,74

Tabela 2. Imedijatna analiza uzorka prašine mrkog uglja [3]

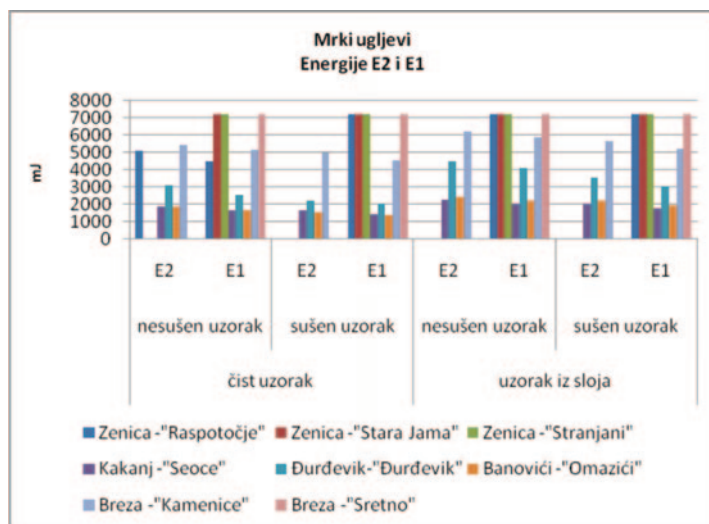
Imedijatna analiza		MRKI UGALJ							
%m/m	Uzorak	Đurdevik	Sretno	Kamenice	Seoce	Stara jama	Raspotočje	Stranjani	Banovići
Ukupna vlaga	Dostavno stanje	10,44	5,48	10,66	12,19	10,64	4,75	12,38	27,15
	Osušen	3,28	0,71	1,61	4,76	6,53	2,72	6,79	11,16
Pepeo	Dostavno stanje	21,86	40,98	15,62	9,51	15,25	9,81	11,98	11,46
	Osušen	23,61	43,05	17,20	10,31	15,95	10,0	12,74	13,98
Sagoriva materija	Dostavno stanje	67,70	53,54	73,72	78,30	74,11	85,44	75,64	61,39
	Osušen	73,11	56,24	81,19	84,93	77,52	87,28	80,47	74,86
Isparljivo	Dostavno stanje	31,19	35,02	35,67	34,66	37,71	40,54	39,56	25,74
	Osušen	33,68	36,79	39,28	37,59	39,54	41,33	42,09	31,39
Volatili	Dostavno stanje	46,07	65,41	48,39	44,27	50,88	47,45	52,30	41,93
	Osušen	46,07	65,42	48,38	44,26	51,00	47,35	52,31	41,93
Sadržaj fiksnog ugljika	Dostavno stanje	36,51	18,52	38,05	43,64	36,40	44,90	36,08	35,65
	Osušen	39,43	19,45	41,91	47,33	37,98	45,95	38,38	43,48
Koksni ostatak	Dostavno stanje	58,37	59,50	53,67	53,15	51,65	54,71	48,06	47,11
	Osušen	63,04	62,50	59,11	57,65	53,93	55,95	51,12	57,45

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati istraživanja MIE prema utvrđenom programu [3], prikazani su na dijagramima, slika 1 i 2.



Slika 1. Vrijednosti E1 i E2 za prašinu lignita



Slika 2. Vrijednosti E1 i E2 za prašinu mrkog uglja

Ustanovljeno je da su vrijednosti najviše energije bez upale (E1), odnosno najniže sa upalom (E2) kreću od:

- $55,7\text{mJ} \leq E1 \leq 512,9\text{ mJ}$; $30,3\text{mJ} \leq E2 \leq 556,5\text{ mJ}$ za prašinu lignita
- $1408\text{mJ} \leq E1 \leq 7220\text{ mJ}$; $1560\text{ mJ} \leq E2 \leq 7220\text{ mJ}$ za prašinu mrkog uglja.

Istraživanje ukazuje da što je veći stepen karbonizacije uglja veće se vrijednosti MIE, s tim da je uglavnom pravilo:

- „čisti ugalj“ < MIE < „ugalj iz sloja“ (uočen znatno veći dijapazon kod prašine lignita) i
- „osušeni uzorak“ < MIE < „dostavni uzorak“ (uočena varijacija smanjenja do sadržaja vlage 15% m/m).

Uz to, ispitivanja uzoraka iz istog ugljenog sloja uzetih na različitim lokacijama (Mramor i Marići) pokazuju značajne razlike u vrijednostima MIE. Ova nedosljednost u vrijednostima energije potrebne za upalu oblaka prašine istog ugljenog sloja može se objasniti neujednačenim hemijskim i mineralno-petrografskim sastavom uglja u jednom ležištu. Ugljeni slojevi su kako po pružanju tako i po vertikalnom presjeku protkani neujednačenim prisustvom osnovnog biljnog materijala i jalovih primjesa. Učešće biljnog materijala je također neujednačeno po kvalitetu i kvantitetu određene biomase.

Imajući u vidu poznate, a potom i moguće faktore uticaja na rezultate ispitivanja MIE oblaka ugljene prašine, analiziran je:

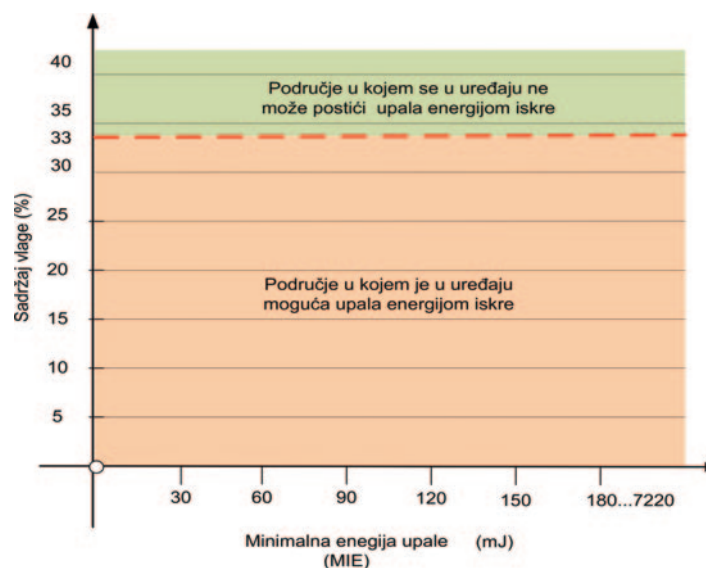
- Uticaj koncentracije prašine
- Uticaj vlage u uzorku
- Uticaj vremena kašnjenja između disperzije oblaka i paljenja iskre
- Uticaj oblika čestice prašine
- Uticaj hemijskog sastava ugljeva
- Uticaj petrografskog sastava ugljeva

Uticaj koncentracije prašine

Sve vrste uzoraka testirane su u rasponu optimalnih koncentracija za upalu: 250 g/m^3 , 500 g/m^3 i 750 g/m^3 , što odgovara masi uzorka od 0,3-0,9 g. U većini slučajeva, MIE kako za lignite tako i za mrke ugljeve odgovarale su masi uzorka između 0,5-0,8 g, odnosno masenoj koncentraciji $417 \text{ g/m}^3 - 667 \text{ g/m}^3$.

Uticaj vlage u uzorku

Eksperimenti su vršeni na uzorcima u dostavnom stanju i sušenim uzorcima čime je gruba vlaga potpuno uklonjena, a sadržaj higroskopne vlage u uzorcima bio je ispod 10 % m/m.



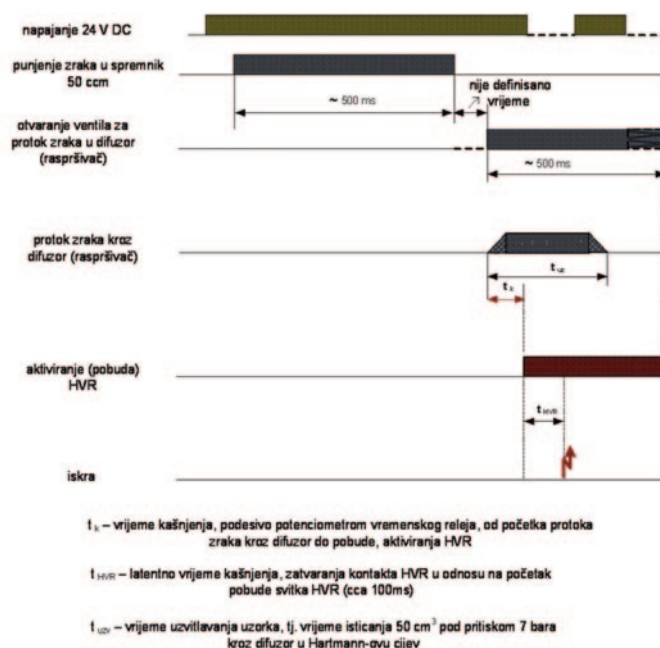
Slika 3. Područja u kojima je moguća/nemoguća upala oblaka prašine u zavisnosti od sadržaja vlage i maksimalne energije iskre [3]

Smanjivanjem vlažnosti u uzorku do 15% m/m, MIE se kreće prema nižim vrijednostima, nakon čega uticaj vlage znatno slabi. Ista vrijednost MIE utvrđena je na nekim uzorcima sa sadržajem vlage od 15% m/m i ispod 10 % m/m. To sugerise da prirodno osušeni uzorak može postići optimalni sadržaj vlage baš kao uzorak koji se suši u laboratorijskim uslovima. Nizak udio vlage (ispod 10 % m/m) osigurava disperziju čestica prašine na širokom području, dok se kod uzoraka u dostavnom stanju postiže malo efektivno područje te je prenos plamena otežan. Sadržaj vlage u uzorcima ~ 4 – 5 % m/m nema uticaja na vrijednost MIE, što se objašnjava činjenicom da isparavanje ove količine higroskopne ili kapilarne vode ne troši veliku količinu energije (nedovoljnu da izostane paljenje). Navedeno ukazuje da bi provođenje ispitivanja MIE oblaka ugljene prašine trebalo izvoditi pri optimalnom sadržaju vlage u uzorku, koji za lignit i mrki ugalj korišten u eksperimentu iznosi oko 10 % m/m.

Uticaj vremena kašnjenja između disperzije oblaka i paljenja iskre

MIE je funkcija turbulencije smješe prašina/zrak i koncentracije prašine. MIE treba mjeriti pri optimalnoj koncentraciji prašine i najnižem nivou turbulencije koji se eksperimentalno može postići. Nivo turbulencije se smanjuje produženjem vremena kašnjenja upale.

Slika 4. prikazuje sva kašnjenja koja se javljaju u Hartmann-ovoj aparaturi.



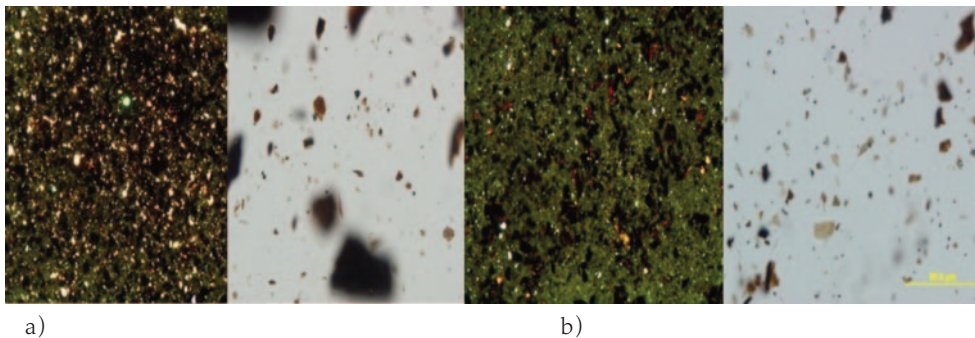
Slika 4. Kašnjenje u Hartmann aparaturi [3]

Varirajući vrijeme kašnjenja inicijacije iskre nakon disperzije prašine (30, 60, 120 i 180 ms) u staklenoj cijevi, utvrđeno je optimalno vrijeme u kojem se najlakše javlja upala. Kod lignitskih prašina primjećen je nešto duži vremenski razmak za postizanje najpodesnijeg vremena za paljenje iskre nakon disperzije prašine. Rezultati ispitivanja pokazuju približne vrijednosti ovog parametra za lignit i mrki ugalj, pod uslovima da su sadržaj vlage, granulacija i koncentracija prašine identični. Pri koncentraciji prašine od 400 g/m³, sadržaju vlage ispod 10 %m/m i granulaciji < 63 μm, određen je optimalni vremenski interval između disperzije i inicijacije varnice od 30-60 ms.

Uticaj oblika čestica

Razlika između disperzije lignitske i prašine mrkih ugljeva posljedica je nejednakih fizičko-hemijskih osobina tih ugljeva, koje zavise o mineralno-petrografskom sastavu i karbonizaciji, ali najviše o sadržaju pepela i vlage, te nejednakog oblika čestica ugljene prašine. Naime, oblik čestice lignitne prašine odstupa od sferičnog oblika i ima nepravilnu izduženu ili pločastu formu, koja ima sposobnost dužeg zadržavanja u disperznom sistemu.

Slika 5 prikazuje mikroskopski izgled prašine mrkog uglja i lignita, gdje se uočavaju sferična zrna čestica mrkog uglja sa mineralnom materijom epigenetskog karaktera, s dominantnom prisutnošću silikata, karbonatnih komponenata, minerala željeza i minerala glina (a), i zrna pločastog i iverastog oblika čestica lignita takođe sa epigenetskim mineralnim primjesama s dominantnom prisutnošću kvarca, minerala gline i sporadičnom prisutnošću minerala karbonatnog porijekla (b).



Slika 5. Mikroskopski prikaz čestica ugljene prašine <63μm (a) mrkog uglja i (b) lignita. Uvećanje x100

Uticaj oblika čestice prašine ogleda se u zauzimanju efektivnog područja u oblaku prašine pri čemu je bitna brzina prenosa plamena sa čestice na česticu, odnosno brzina prihvaćanja plamena svake čestice posebno. U pahuljastim, lističastim i vlaknastim oblicima lakše se prenosi plamen s čestice na česticu nego kod zrnastih oblika.

Eksperimenti su dokazali teoretsku pretpostavku da je sferične čestice teže zapaliti od ostalih geometrijskih oblika čestica prašine, pa je to još jedan parametar koji je uticao na visoku vrijednost MIE upale prašine mrkih ugljeva. Suprotno tome, kod lignita sa pločastim oblikom čestica, zbog povoljnije kontaktne površine između čestica prašine dispergovane u cijevi Hartmann-ovog uređaja, i potrebne niže energije aktivacije, vrijednosti MIE oblaka prašine su znatno niže.

UTICAJ HEMIJSKOG SASTAVA UGLJEVA

Uticaj hemijskog sastava na vrijednost MIE oblaka prašine manifestuje se u sadržaju gorivih (ugljenik, vodonik i sumpor) i inertnih (nitrogen i kiseonik) elemenata u organskom dijelu uglja, te u sadržaju mineralne materije u uglju, koju čine minerali silicijuma, željeza, aluminijuma, kalcijuma, magnezijuma, titana, fosfora, alkalnih elemenata, natrijuma i kalijuma i ostalih elemenata u tragovima, kao: berilijuma, nikla, cinka, mangana, molibdena, olova, uranskih elemenata itd.

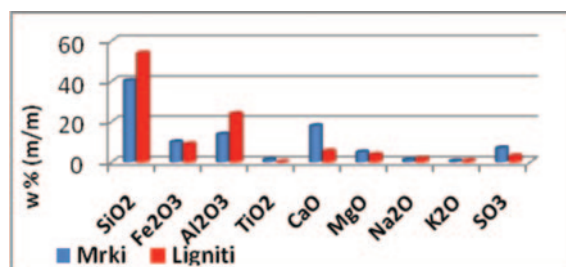
Na bazi rezultata analize (tabela 2) može se vidjeti da se sadržaj sagorive materije u prašini mrkog uglja kreće od 53,54 do 85,63 % m/m i sušenjem se neznatno mijenja, budući da je sadržaj prirodne vlage u uglju nizak. U osušenom uzorku količina sagorive materije se kreće od 56,24 do 87,28 % m/m.

U prašini lignita prirodni sadržaj sagorive materije iznosi od 43,4 do 63,8 % m/m, dok je u sušenom uzorku znatno veći (74,83 % m/m do 87,78 % m/m), zbog gubitka velike količine grube vlage koja se nalazi u prirodnom uzorku i isparava tokom sušenja uglja, tabela 1.

Obzirom na visok sadržaj sagorive materije u obje vrste ispitnih uzoraka očekivale su se znatno niže vrijednosti MIE od utvrđenih. Unatoč visokom sadržaju sagorive materije u prašini mrkog uglja, MIE oblaka prašine su višestruko veće za skoro isti sadržaj sagorive materije u lignitu kako na dostavnom uzorku tako i osušenom uzorku.

Mineralna materija u uglju ima inhibitorско djelovanje jer tokom sagorijevanja organske materije u uglju apsorbuje toplotnu energiju, potrebnu za endotermne reakcije kao što su: termička disocijacija krečnjaka, fazne transformacije, dehidratacija, disocijacija i redukcija. Ovi procesi su u odnosu na sastav mineralne materije u uglju favorizovani, a egzotermni koji se dešavaju pri kristalizaciji, disocijaciji i oksidaciji su uglavnom podređeni. Na osnovu navedenog, može se reći da prisustvo mineralne materije u ugljenoj prašini uzrokuje povećanje MIE potrebne za upalu prašine.

Slika 6 prikazuje hemijski sastav pepela koji nastaje u procesu sagorijevanja uglja, odnosno organske mase u uglju.



Slika 6. Hemijski sastav pepela ispitivanih ugljeva

Pepeo nastao sagorijevanjem obje vrste uglja ima ujednačen sadržaj minerala željeza i alkalnih oksida. Dominantno prisustvo silikatnih minerala i minerala glina (alumosilikati) manje je kod mrkog uglja, nego u lignitima. Uočava se visok sadržaj minerala karbonata kod mrkog uglja, koji u toku termičkih promjena snažno adsorbuje toplotu, čak 1207,0 kJ/mol, za termičku disocijaciju krečnjaka do oksida kalcijuma i magnezijuma. Ovi podaci djelimično rasvjetljavaju razlog visoke vrijednosti MIE prašine mrkog uglja. Dakle, hemizam procesa gorenja, koji se događa u česticama ugljene prašine, kada je mineralna materija inhibitor reakcije, smanjuje energiju aktivacije čestica prašine i usporava kinetiku reakcije. Uz to, mineralna materija usljed endotermnih reakcija oduzima dio toplote iskre.

Uticaj petrografskog sastava uglja

Lignit, koji predstavlja ksilitski ugalj, sa prosječnom guštinom od $1,2 \text{ kg/m}^3$ sadrži veću količinu macerala kao što su detrit teksto i detrit gelo, čija gustina je ispod $1,3 \text{ kg/m}^3$, dok mrki ugljevi sadrže maceralne komponente kao što su tekstil gelo sa mikrolitotipovima vitrinitom, duritom i fuzinitom sa semifuzinitom prosječne gustine od $1,3$ do $1,45 \text{ kg/m}^3$.

U odnosu na maceralni sastav uglja jasno je da macerali detrit teksto i detrit gelo imaju hemijsku strukturu koja odgovara manjem broju aromatskih jezgara u strukturi uglja. Metamorfoza izvorne biljne materije kod mlađih ugljeva nije završena u smislu okončanja procesa karbonizacije. Ova konstatacija je potvrđena za analizirane uzorke lignitnih ugljeva, kod kojih nije konstatovan mikrolitotip tekstil gelo. To konkretno znači da je odsustvo „teških“ aromatskih grupa u molekuli lignitnih ugljeva rezultiralo lakšom upalom ugljene prašine, odnosno nižom MIE.

ZAKLJUČAK

Minimalna energija upale (MIE) zapaljivih prašina je važan parametar za efikasno planiranje i provođenje mjera zaštite od požara i eksplozija.

Ispitivanja MIE obavljeno je na uzorcima ugljenih prašina lignita i mrkog uglja za dvije vrste ispitnih uzoraka: uzorcima čistog uglja bez međuslojeva i uzorcima uglja iz cijelog profila jamske prostorije. Shodno propozicijama norme [5] ispitivanja su vršena na ispitnim uzorcima u dostavljenom stanju i sušenim uzorcima (uklonjena gruba vlaga).

Ispitivanjem MIE je utvrđeno da je prašina lignita po pravilu podložnija upali pri niskim energijama (30 do $5 \times 10^2 \text{ MJ}$) u odnosu na prašinu mrkog uglja ($1,5 \times 10^3$ do $\geq 7220 \text{ MJ}$), što se objašnjava razlikama u fizičko-hemijskom i mineralno-petrografskom sastavu ispitivanih uzoraka. Obzirom da je urađen veliki broj testova, uočene su razlike u intenzitetu plamena i dužini trajanja, odnosno brzini prenosa plamena nakon iniciranja električnom iskrom. Kod lignitne prašine, plamen je u principu intenzivniji i obično se prenese na kompletan oblak prašine dispergovane u cijevi Hartmann-ovog uređaja. Kod prašine mrkog uglja, upala se ponekad dešavala u području oko elektroda, odnosno neposredno u blizini iskre što potvrđuje pravilo težeg prenosa upale na kompletan oblak dispergovane prašine. Ispitivanjima je utvrđeno da se kod sadržaja vlage iznad $33\% \text{ m/m}$ ne mogu postići upale bez obzira na veličinu energije iskre.

Rezultati istraživanja su aplikativni i uz ostale parametre koji definišu zapaljivost i eksplozivnost ugljene prašine, doprinose detaljnijem definisanju preventivnih mjera u jamama, te u vanjskim rudarskim i energetske objekta.

LITERATURA

- [1] Addai, E.K., Gabel, D., Krause, U.: Experimental investigations of the minimum ignition energy and the minimum ignition temperature of inert and combustible dust cloud mixtures. *Journal of Hazardous Materials*, 307:2016, 302-311.
- [2] BAS 1003:2002: Metode uzimanja uzoraka uglja za određivanje eksplozivnosti prašine.
- [3] Delalić M.: Minimalna energija upale oblaka prašine lignite i mrkih ugljeva BIH, doktorska disertacija, RGGF Tuzla, februar 2012.
- [4] IEC 61241-2-3:1994, Električni uređaji za upotrebu u zapaljivoj prašini, 2.dio: Metode ispitivanja, 3 odjeljak: Metode određivanja najmanje energije paljenja smjese zraka i prašine.
- [5] ISO/IEC 80079-20-2:2016, Eksplozivne atmosfere, dio 20-2: Karakteristike materijala- Ispitne metode za zapaljive prašine.
- [6] Lifu Yu, Banda Li, et al.: Experimental investigations of ignition sensitivity of hibrid mixtures of oil shale dust and syngas, *Fuel*, 210:2017, 1-7.
- [7] Marković, J., Šišić, R., Demirović S.: Testing of dust explosion characteristics of brown coal at reduced oxygen content. *Journal of Society for Development of Teaching and Business Processes in new net Environment in B&H, TTEM*, 2:2015,150-155.
- [8] Marković, J., Šišić, R., Bajramović, K. (2017) : Assessing the effectiveness of inertization of brown coal dust with limestone rock dust. *Undegraund Mining Engineering* 31:2017, 31-43.
- [9] Norman, F., Barghmans, J., Verplaetsen, F.: The Minimum Ignition Energy of Coal Dust in an Oxygen Enriched Atmosphere, *The Italian Association Chemical Engineering*, 31:2013, 739-744.
- [10] Wang, J., Meng, X., Zhang, Y., et al.: Experimental Study on the Ignition Sensitivity and Explosion Severity of Different Ranks of Coal Dust, *Hindawi Shock and Vibration*, Volume 2019, Article ID 2763907 , <https://doi.org/10.1155/2019/2763907>

Adresa Uređivačkog odbora

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
Univerzitetska br.2
75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina
Tel: +387 35 320 550, Fax: +387 35 320 570

Ciljevi i djelokrug

Glasnik Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta registrovan je 2013.godine sa ciljem objavljivanja naučnih i stručnih radova iz naučnih polja 1.5, 2.1 i 2.7 (Klasifikacija Frascati).

Djelokrugom časopisa su obuhvaćene:

- Geonauke - multidisciplinarno, Mineralogija, Paleontologija, Geofizika, Geologija, Hidrologija, Vodni resursi
- Građevinarstvo, Arhitektura, Konstrukterstvo, Saobraćajnice, Hidrotehnika
- Okolišno i geološko inženjerstvo, Geotehnika, Naftno inženjerstvo (nafta, plin), Rudarstvo i priprema mineralnih sirovina

Uputstva za autore

Uputstvo za pripremu radova može se preuzeti na <http://rggf.untz.ba/Glasnik.html>.

Jezici rukopisa

Radovi koji se publikuju u Glasniku Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta trebaju biti napisani na bosanskom, srpskom, hrvatskom ili engleskom jeziku.

Naslov rada, sažetak, ključne riječi i zaključak trebaju biti napisani dvojezično na bosanskom/srpskom/hrvatskom i engleskom jeziku.

Pretplata

Bosna i Hercegovina – 10 KM jedan primjerak (8 KM primjerak za narudžbe 10 primjeraka i više) + troškovi dostave

Inostranstvo – 8 EUR jedan primjerak (6 EUR primjerak za narudžbe 10 primjeraka i više) + troškovi dostave

Plaćanje u Bosni i Hercegovini

Svrha doznake: Štampano izdanje Glasnik RGGF (komada br.)

UNIVERZITET U TUZLI, RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKI FAKULTET

Univerzitetska 2, Tuzla

Transakcijski račun: 1321000256000080 NLB Tuzlanska banka dd Tuzla

Budžetska organizacija broj: 2404007

Vrsta prihoda: 722631

Poziv na broj: 7013000000 Općina 094

Plaćanje u inostranstvu

Subscription to the Journal of Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering

DEUTSCHE BANK AG Frankfurt/M

BIC: DEUTDEFF

Account with Institution: ACC 936272410 EUR – 936272405 USD

NLB TUZLANSKA BANKA DD TUZLA

BIC: TBTUBA22

Beneficiary Customer: IBAM: BA 3913210100 867 24943

TUZLANSKI KANTON – DEP.RN.

Turalibegova 40, Tuzla (Za Univerzitet u Tuzli – RGGF fakultet)