

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKO REŠENJE

M85 – Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji
(nije komercijalizovano)

Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazaltnog liva

Autori:

Dr Marina Dojčinović, vanredni profesor

Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Marko Pavlović, diplomirani master inženjer

Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Ljubiša Andrić, naučni savetnik

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Dr Milan Petrov, naučni savetnik

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Dr Dragan Radulović, viši naučni saradnik

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Beograd, 12.05.2020.god.

1) AUTORI TEHNIČKOG REŠENJA:

Dr Marina Dojčinović, dipl.ing. mašinstva, vanredni profesor

Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd

Dr Marko Pavlović, diplomirani master inž. metalurgije

Kontrol Inspekt, Beograd, Mladena Mitrića 12, 11000 Beograd

Dr Ljubiša Andrić, dipl. ing. rudar., naučni savetnik, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franše d'Eperea 86, Beograd

Dr Milan Petrov, dipl. ing. rudar., naučni savetnik, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franše d'Eperea 86, Beograd

Dr Dragan Radulović, dipl. ing. rudar., viši naučni saradnik, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franše d'Eperea 86, Beograd

2) NAZIV TEHNIČKOG REŠENJA:

Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazalnog liva

3) KLJUČNE REČI:

bazalt, mlevenje i priprema aglomerata, topljenje bazalnog agregata i livenje, termički tretman odlivaka, kavitacija, gubitak mase, kavitacione brzine, morfologija oštećenja površine, konstrukcioni/građevinski materijal

4) KORISNIK TEHNIČKOG REŠENJA (za koga je tehničko rešenje rađeno):

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Laboratorija za pripremu mineralnih sirovina), Bulevar Franše d'Eperea 86, 11000 Beograd.

5) GODINA KAD JE TEHNIČKO REŠENJE KOMPLETIRANO:

2020 god.

6) GODINA KADA JE TEHNIČKO REŠENJE POČELO DA SE PRIMENJUJE I KOD KOGA:

2019 god., Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Laboratorija za pripremu mineralnih sirovina), Bulevar Franše d'Eperea 86, 11000 Beograd.

7) OBLAST I NAUČNA DISCIPLINA NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI:

Tehničko rešenje pripada oblasti: energetika, rudarstvo i energetska efikasnost

Karakter rešenja: inovacija u oblasti procesa mlevanja mineralne sirovine, topljenje i livenje sa termičkim tretmanom bazalnog agregata, optimizacija metoda karakterizacije materijala

Oblast i naučna disciplina: Obrada i prerada; Drobljenje, mlevenje u agregat ili usitnjavanje uopšte; inženjerski materijali

BROJ UGOVORA ILI PROJEKTA IZ KOGA PROIZILAZI TEHNIČKO REŠENJE:

Projekat broj **TR 34006** („Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina“), rukovodilac dr Milan Petrov, nosilac projekta - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina ITNMS, Beograd koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije 2011-2020.

Dokaz za prihvatanje tehničkog rešenja: opis tehničkog rešenja publikovan u časopisu kategorije M22: M. Pavlovic, M. Dojčinovic, R. Prokic-Cvetkovic, Lj. Andric, Z. Ceganjac, Lj. Trumbulovic: Cavitation wear of Basalt Glass Ceramic, *Materials*, 12 (9) (2019) 1552, IF (2018) = 2,972, doi: 10.3390/mai12091552., (ISSN: 1996-1944; CODEN: MATEG9).

NAZIV MATIČNOG ODBORA MINISTARSTVA PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA KOMPETENTNOG ZA DONOŠENJE ODLUKE O PRIHVATANJU TEHNIČKOG REŠENJA:

Matični naučni odbor za energetiku, rudarstvo i energetska efikasnost

RECENZENTI TEHNIČKOG REŠENJA:

1. Prof. dr Predrag Lazić, dipl.ing. rudarstva, Rudarsko geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu
2. Dr Anja Terzić, naučni savetnik, IMS, Beograd

VERIFIKACIJA TEHNIČKOG REŠENJA:

INSTITUT ZA TEHNOLOGIJU NUKLEARNIH I DRUGIH MINERALNIH SIROVINA,
BULEVAR FRANŠE D'EPEREA 86, 11000 BEOGRAD

GODINA IZRADE:

2019/2020.

8) PROBLEM KOJI SE REŠAVA PRIMENOM TEHNIČKOG REŠENJA: obrazloženje unapređenja procesa sinteze i karakterizacije bazaltnog liva prikazanog u okviru tehničkog rešenja

Poslednjih decenija u svetu je veoma aktuelana problematika razvoja tehnologija prerade nemetalnih mineralnih sirovina, a naročito bazaltnih stena. Veći deo proizvoda dobijenih tehnološkom preradom bazalta mogu se svrstati u nove materijale, veoma tražene na svetskom tržištu za široku primenu u uslovima u kojima su prisutne visoke temperature, pritisci, habanje, kavitacija, korozija, kao zamena za metalne materijale. Srbija raspolaže znatnim resursima kvalitetnih nemetalnih sirovina, što stvara mogućnost široke primene bazaltnih stena (rovnog bazalta), kao sirovine za industrijsku preradu i dobijanje različitih vatrostalnih proizvoda. U okviru tehničkog rešenja su istraženi procesi sinteze livenih uzoraka na bazi bazalta povišenih svojstava otpornosti na dejstvo kavitacije i habanja. Kao polazni materijal korišćene su olivin-piroksenske bazaltne stene iz ležišta Vrelo–Kopaonik. Određena je otpornost livenih uzoraka na bazi bazalta pod dejstvom kavitacije. Praćeni su i analizirani procesi nastajanja i razvoja oštećenja površine primenom skenirajuće elektronske mikroskopije i analize slike. Primenjene metode karakterizacije uzoraka na bazi bazalta mogu da se koriste u praksi za ocenu rizika primene vatrostalnih materijala u ekstremnim uslovima eksploatacije, kao i prognoziranje veka trajanja različitih komponenti inženjerskih konstrukcija koje su u radu izložene dejstvu kavitacionih opterećenja ili habanja.

Produženje radnog veka komponenti je jedan od važnih elemenata za doprinos smanjenju troškova radnog ciklusa industrijske opreme. Cilj je smanjiti troškove održavanja, povećati pouzdanost i produktivnost. Jedan od glavnih uzroka vremenskog zastoja i novčanih gubitaka u industriji jeste reparacija ili zamena opreme. Savremena inženjerska praksa se bazira na pronalasku materijala čije će vreme eksploatacije biti duže i samim tim potreba za reparacijom manja. Poznato je da se elementi i uređaji sistema za transport fluida, delovi opreme za metalurške procese i druge oblasti najčešće izrađuju od čelika [1]. Zbog specifičnih radnih uslova koriste se ugljenični, legirani, i mikrolegirani čelici i nerđajući čelici različitog hemijskog sastava [2-5]. Savremena istraživanja usmerena su ka ispitivanju otpornosti na dejstvo habanja i kavitacije novih materijala (legure obojenih metala, keramika, polimeri) i njihovu potencijalnu primenu u ovakvim eksploatacionim uslovima [6-14]. Ovim tehnološkim rešenjem otvara se mogućnost primene vatrostalnih materijala na bazi bazalta dobijenih topljenjem i livenjem, sa odgovarajućim termičkim tretmanom, poboljšane strukture i svojstava, koji mogu naći primenu u radnim uslovima u kojima se javljaju visoke temperature i pritisci, protok fluida i suspenzija, korozija, habanje, dejstvo reaktivnih materijala kao što su tečni metali, šljaka, alkalije, jedinjenja hloriga, korozivni gasovi.

Bazalt pripada grupi izuzetno tvrdih vulkanskih stena [15]. Ispitivanja bazalta iz ležišta Vrelo–Kopaonik pokazala su da se radi o kompaktnoj, jednoj bazičnoj vulkanskoj steni sa masivnom do fluidnom teksturom. Stena ima karakteristike lako topivog materijala, koji određenim tretmanom hlađenja, može da posluži kao sirovina za proizvodnju stakla i staklo-keramike sa specifičnim mehaničkim svojstvima, velikom čvrstoćom i malom abrazivnošću [16-19]. Osnovni oksidi koji određuju kvalitet rastopa bazalta pri dobijanju proizvoda livenog bazalta su SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO . Bazaltne stene iz ovog ležišta uglavnom sadrže ove komponente tako da mogu da se koriste kao sirovina za dobijanje proizvoda bazalta, a po potrebi moguće je korigovati sastav dodatkom prirodnih karbonata (dolomita, krečnjaka), metalurških šljaka i drugih sastojaka [20].

Promena režima termičke obrade livenog bazalta dovela je do pojave različitih kristalnih faza, različitog udela i sastava staklaste faze, različitih mikrostruktura, pri čemu se dobijeni i uzorci staklo-keramike različitih svojstava. Cilj je da se definiše optimalni postupak sinteze livenog bazalta (najmanje količine dodataka, najmanji utrošak energije, najkraća vremena) koji će proizvesti materijal željene strukture i svojstva. Očekivani konačni rezultat je bazalni liv poboljšanih svojstava koji može da zadovolji zahteve industrijske primene i ugradnje u konstruktivne elemente metalurških agregata. Velika pogodnost livenog bazalta je njihovo svojstvo visoke otpornosti na dejstvo korozije.

Svojstva materijala se pri tome određuju pomoću standardizovanih laboratorijskih metoda ispitivanja ili pomoću savremenih instrumentalnih metoda, vodeći računa da rezultati dobijeni određenom metodom budu međusobno uporedni. Ukazano je na potrebu razvoja metoda karakterizacije za brzo određivanje svojstava otpornosti vatrostalnih materijala, što bi omogućilo izbor i procenu ponašanja materijala za konkretne eksploatacione uslove. Kao pogodna metoda predložena je ultrazvučna vibraciona metoda sa stacionarnim uzorkom prema standard ASTM G32.

Razvijena je metodologija određivanja kavitacione otpornosti materijala zasnovane na vrednostima kavitacionih brzina i analizi morfologije oštećenja površine materijala pod dejstvom kavitacije. S obzirom da se ispitivanja vrše pod istim uslovima, pri istim geometrijskim karakteristikama uzoraka, istom načinu pripreme površine uzoraka, kao i istim uslovima ispitivanja primenom ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom, dobijeni rezultati ispitivanja za različite materijale mogu da se međusobno porede i da se izvrši izbor materijala za konkretne praktične primene. Opisane su metode karakterizacije kojima se prati nastajanje i razvoj oštećenja površine uzoraka pod dejstvom kavitacije, pre svega mikroskopske metode i analiza slike.

9) STANJE REŠENOSTI PROBLEMA U SVETU I NA NACIONALNOM NIVOU

U svetu je veoma aktuelana problematika razvoja tehnologija prerade nemetaličnih mineralnih sirovina u proizvode koji imaju široku primenu, a to se posebno odnosi na bazaltne stene. Iako Srbija raspolaže kvalitetnim nemetaličnim sirovinama, još uvek nisu na zadovoljavajućem nivou zastupljene tehnologije njihove prerade u različite proizvode za primenu u industriji. Dobra tehnička svojstva čine bazalt važnom sirovinom za primenu u građevinarstvu, za izgradnju puteva za sve vrste saobraćajnih opterećenja, za izradu zastora brzih železničkih pruga [21-24]. Kao arhitektonsko građevinski kamen može se upotrebiti za oblaganje spoljnih i unutrašnjih horizontalnih i vertikalnih površina, za izradu dekorativnog nameštaja, posuda, glazura za dekorisanje različitih keramičkih i drugih proizvoda [25-27], za izradu podnih obloga u proizvodnim pogonima i halama, za sve vrste hidrotehničkih radova [22, 28]. Rovni bazalt i proizvodi livenog bazalta primenjuju se kao zamena za prirodni kamen za oblaganje uređaja i habajućih delova raznih postrojenja, posebno u cementnoj industriji, za silose za skladištenje mineralnih sirovina, bunkere za koks i razne rude, klasifikatore i mešalice [17, 18, 21, 22].

Bazalt je jeftina i široko rasprostranjena sirovina za izradu stakla i staklo-keramike [16, 19, 29], sintezu novih materijala i proizvoda kao što su bazaltna vuna, bazaltna vlakna, bazaltna plastika, bazaltna armatura, kompozitni materijali, koji nalaze široku primenu za izradu delova i

opreme u mašinskoj industriji, auto industriji, brodogradnji, građevinarstvu [30-32]. Tehnologija prerade bazaltnih stena je ekološki čista, a proizvodi dobijeni tehnološkom preradom bazalta nisu kancerogeni [33]. Osnovna svojstva bazalta, koja su uticala na njegov izbor za istraživanje kavitacione otpornosti i procenu mogućnosti primene u inženjerskoj praksi, kao zamene za metalne materijale, bila su: gustina 2460-2960 kg/cm³, temperatura topljenja 1300-1400 °C; visoka tvrdoća 6.5-7 po Mosh skali; pritisna čvrstoća 80 MPa; poroznost 3,78%; higroskopnost 1-4%; moisture content 1,2%; visoka otpornost na habanje, niske temperature, agresivne sredine [15-17,21,24]. Za procenu mogućnosti primene bazalta za izradu elemenata industrijske opreme koja je u eksploataciji izložena dejstvu visokih temperatura i pritisaka, habanju, dejstvu agresivnih suspenzija i fluida, dejstvu hemikalija i korozije, istraživanjima u ovom tehničkom rešenju je određena otpornost na dejstvo kavitacije uzoraka rovnog i livenog bazalta.

Kavitacija je vid habanja i predstavlja pojavu nastajanja, rasta i implozije (urušavanja) parnih ili paro-gasnih mehura u tečnosti koja struji. Implozije mehura stvaraju udarne talase i mikromlazeve - koncentrator naprezanja, čija se energija rasipa unutar tečnosti ili je apsorbuje čvrsta površina sa kojom je tečnost u kontaktu. Pokazalo se da, udarna opterećenja nastala kolapsom kavitacionog mehura, čije su amplitude između vrednosti čvrstoće na granici velikih izduženja i maksimalne čvrstoće materijala, doprinose nastajanju elastično/plastične deformacije i otvrdnjavanju površine. Impulsni pritisci, sa amplitudom većom od maksimalne čvrstoće materijala, izazvaju oštećenja i gubitak mase materija, što predstavlja kavitacionu eroziju. Tokom kavitacije pri urušavanju mehura lokalno nastaju visoke temperature i pritisci (približno 5000°C i 1000 bar) u vrlo kratkom vremenskom intervalu (manje od 1μs) [2, 34-36].

Veliki uticaj na otpornost materijala prema dejstvu kavitacije pokazuju struktura i svojstva materijala (pre svega tvrdoća i čvrstoća materijala), kao i hidrodinamički parametri procesa kavitacije [7-11, 37]. Većina literaturnih podataka odnosi se na izučavanje ponašanja metalnih materijala pod dejstvom kavitacije, pre svega čelika i legura aluminijuma [2-4], zatim kombinaciju metalnih i keramičkih materijala, polimera, kompozita [13], primenu keramičkih premaza za zaštitu i povećanje otpornosti na dejstvo kavitacije metalnih konstrukcija [10], istraživanje keramičkih materijala [11-15], a nema podataka o istraživanju kavitacione otpornosti bazalta.

10) OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

10.1. Materijali

Eksperimentalni deo koji predstavlja osnovu verifikacije rezultata ovog tehničkog rešenja zasnovan je na ispitivanju otpornosti na dejstvo kavitacije uzoraka rovnog bazalta i uzoraka livenog bazalta. Uzorci rovnog bazalta, dimenzija (15×15×15) mm isecani su iz selektovanih stena bazalta iz ležišta Vrelo- Kopaonik. Uzorci livenog bazalta dobijeni su procesima topljenja drobljenih i usitnjenih bazaltnih stena na temperaturi 1250°C i livenja ispitnih ploča dimenzija (200×150×15) mm u peščane kalupe. U cilju smanjenja unutrašnjih naprezanja livene probne ploče su odgrevane na temperaturi 850°C/2h, a zatim su postupno hladjene u peći do sobne temperature. Iz livenih probnih ploča bazalta isečeni su uzorci dimenzija (15×15×15) mm za ispitivanje svojstava otpornosti pod dejstvom kavitacije.

U tabeli 1. prikazan je hemijski sastav uzoraka rovnog i livenog bazalta.

Table 1. Hemijski sastav rovnog i livenog bazalta (%).

Uzorak	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Rovni bazalt	56.21	18.61	1.15	2.97	3.40	7.78	4.73	3.37	1.11
Liveni bazalt	52,78	16,97	1,87	7,52	7,56	8,94	1,79	0,89	1,26

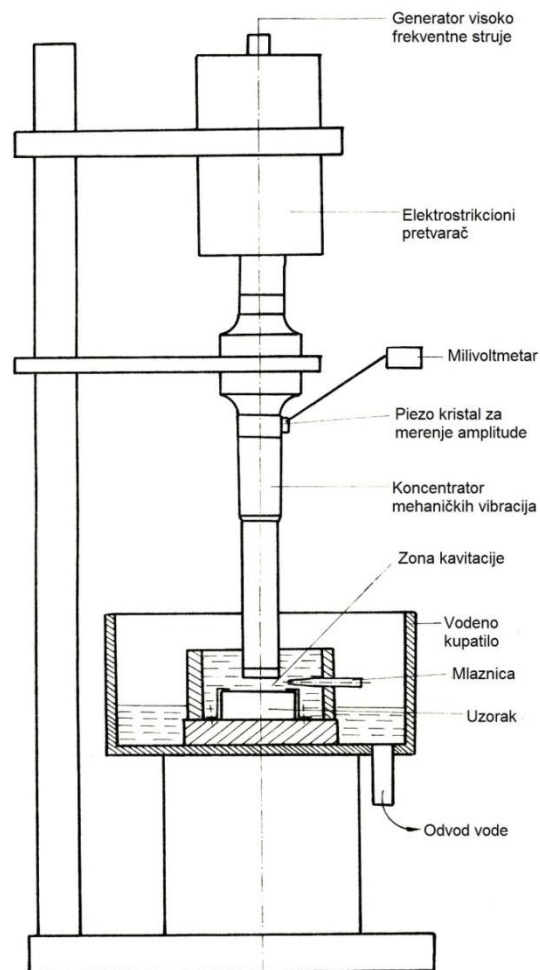
Za dobijanje unapred zadate strukture i svojstava uzoraka na bazi bazalta istraženi su postupci pripreme polaznih sirovina procesima drobljenja i mlevenja, kao i postupci sinteze procesima topljenja, livenja i termičkog tretmana.

10.2. Opis metoda karakterizacije

Rendgenska difrakciona analiza korišćena je za određivanje i praćenje faznog sastava rovnog i livenog uzorka. Uzorci su analizirani na rendgenskom difraktometru marke "PHILIPS", model PW-1710. Morfološka i kvantitativna hemijska analiza uzoraka urađena je na skenirajućem elektronskom mikroskopu marke "JEOL" model JSM 6610 LV. Pošto uzorci bazalta nisu provodnici pre snimanja su naparavani zlatom.

Za ispitivanje otpornosti na dejstvo kavitacije, korišćena je ultrazvučna vibraciona metoda (sa stacionarnim uzorkom) prema standardu ASTM G32 [38]. Ova laboratorijska metoda omogućila je da se, u relativno kratkom vremenu, proceni mogućnost primene ispitivanih uzoraka u uslovima kavitacionih operacija. Uređaj se sastoji iz generatora visokofrekventne struje, električnog pretvarača, koncentratora mehaničkih vibracija i vodenog kupatila sa držačem ispitivanog uzorka (slika 1). Tokom ispitivanja koncentrator mehaničkih vibracija je svojim donjim krajem uronjen u vodeno kupatilo temperature 25 ± 1 °C. Uzorak koji se ispituje postavljen je ispod čeone površine koncentratora vibracija sa zazorom 0.5mm. Frekvencija mehaničkih vibracija je 20kHz, a amplituda je 50µm. Ispod čeone površine koncentratora i stacionarnog ispitivanog uzorka, obrazuje se jaka kavitaciona zona. Voda u vodenom kupatilu hladi uzorak i održava njegovu temperaturu konstantnom. Stalnim protokom vode stvara se polje pritiska koje podstiče imploziju kavitacionih mehura na površini ispitivanog uzorka. Na ovaj način uzorak nije izložen mehaničkim naprezanjima u toku ispitivanja. Izabrano vreme ispitivanja uzoraka (min): 15; 30; 60; 120. Posle svakog intervala ispitivanja merena je promena gubitka mase uzorka analitičkom vagom tačnosti 0,1mg.

Rezultati oštećenja su prikazani na dijagramu gubitka mase tako što se na ordinatu nanose vrednosti gubitka mase, dok se na apscisu unose vrednosti za vreme izlaganja materijala dejstvu kavitacije. Za definisanje kavitacione brzine ispitivanih uzoraka korišćeni su dijagrami koji pokazuju pravolinijsku zavisnost između gubitka mase i vremena ispitivanja, a dobijeni su primenom metode najmanjih kvadrata tačaka dijagrama. Gubitak mase za vreme kavitacionog delovanja određen je iz tangensa nagiba prave, što ujedno predstavlja i kavitacionu brzinu na osnovu koje mogu da se porede svojstva otpornosti ispitivanih materijala pod dejstvom kavitacije. Na osnovu vrednosti kavitacionih brzina i analize morfologije oštećenja površine uzoraka na bazi bazalta, urađene primenom skenirajućeg elektronskog mikroskopa i primenom kompjuterske analize slike, određena su svojstva otpornosti svih ispitivanih uzoraka i procenjena je mogućnost njihove primene u sličnim eksploatacionim uslovima.



Slika 1. Šema uređaja za ispitivanje otpornosti na dejstvo kavitacije ultrazvučnom vibracionom metodom sa stacionarnim uzorkom [5]

Imajući u vidu da struktura i svojstva uzoraka bazalta utiču na otpornost pod dejstvom kavitacije, analizirane su promene u strukturi površine uzoraka tokom vremena ispitivanja. Uzorci su snimani pre, u toku i na kraju ispitivanja. Morfologija oštećenih površina je analizirana skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM) Joel JSM 6610 LV.

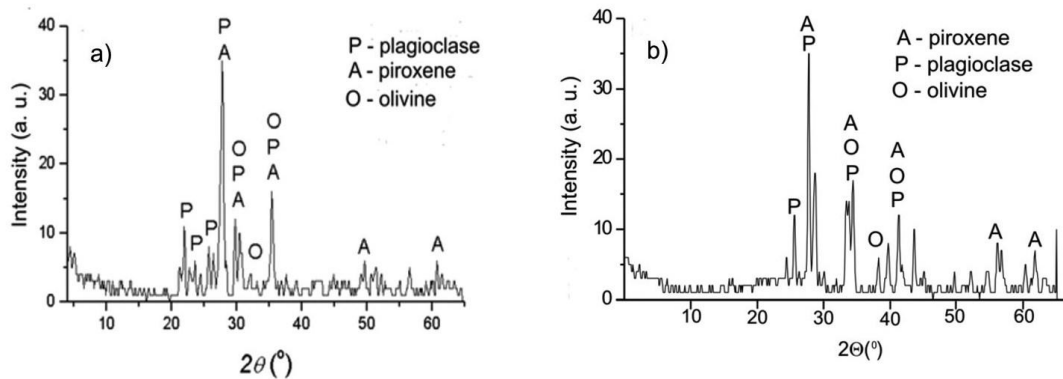
Nastajanje i razvoj oštećenja površine uzoraka pod dejstvom kavitacije praćeno je korišćenjem kompjuterskog programa za analizu slike Image Pro Plus [39], što je omogućilo analizu parametara oštećenja: nivo degradacije površine uzoraka P/P_0 , %, (pri čemu vrednost P_0 se odnosi na referentnu površinu bez pojave oštećenja, a vrednost P predstavlja oštećenja na površini uzorka nastala tokom ispitivanja); broj formiranih jamica, N_p i srednja površina formiranih jamica, P_{av} , mm^2 . Rezultati dobijeni analizom slike u vremenu dejstva kavitacije su ilustrovani dijagramima. Primenom analize slike uz pomoć kolor i kontrast filtera dobijaju se linije profila koje pokazuju promene na površini uzorka tokom ekspozicije i na osnovu njih može da se oceni otpornost uzoraka na nastajanje i razvoj kavitacionih oštećenja. Ispitivanjima su dobijeni podaci za procenu i prognozu otpornosti na dejstvo kavitacije ispitivanih vatrostalnih materijala na bazi bazalta. Ocena ponašanja ispitivanih uzoraka pod dejstvom kavitacije

analizirana je na osnovu korelacije dobijenih rezultata ispitivanja sa strukturom i svojstvima bazalta.

10.3. Karakterizacija rovnog i livenog bazalta pre ispitivanja pod dejstvom kavitacije

10.3.1. Fazni sastav uzoraka bazalta

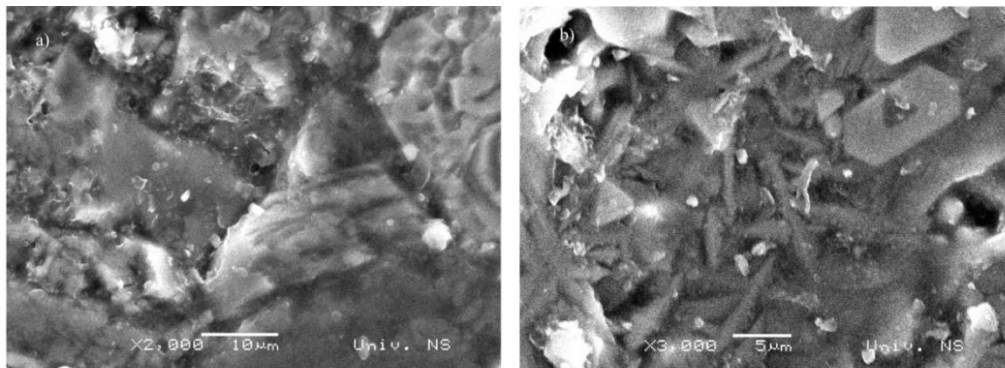
Mineralni sastav uzorka rovnog bazalta (RB) i livenog bazalta (LB) je sledeći: plagioklasi, pirokseni, olivini, slika 2. Najzastupljeniji minerali u uzorku RB su bazični plagioklasi, dok su pirokseni (augit) i olivini manje prisutni, slika 2a. U livenom uzorku plagioklasi su delimično amorfizovani tako da su pirokseni i manje olivini najzastupljeniji, slika 2b.



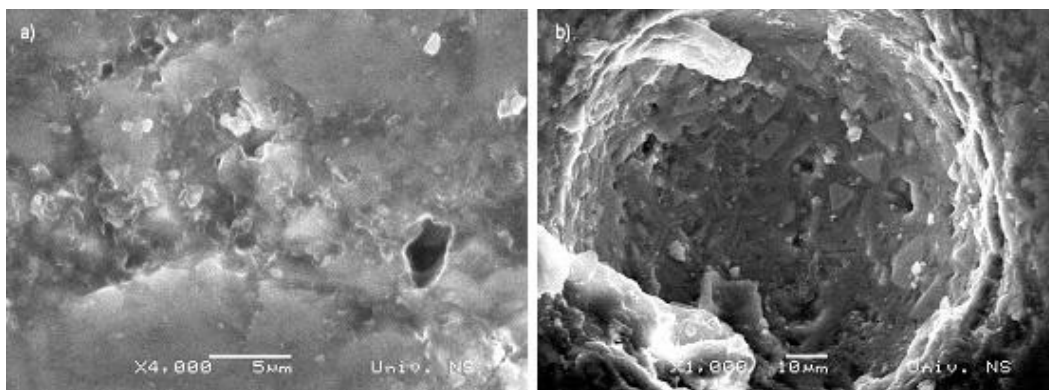
Slika 2. XRD uzoraka bazalta: a. Rovni bazalt (RB); b. Liveni bazalt (LB)

10.3.2. Mikrostrukturna analiza uzoraka bazalta

Na slici 3 prikazane su SEM mikrofotografije uzorka RB i uzorka LB pre procesa kavitacije. U strukturi uzorka prisutni su mehuri različitih veličina, koji su ispunjeni vazduhom ili staklom, slika 4.



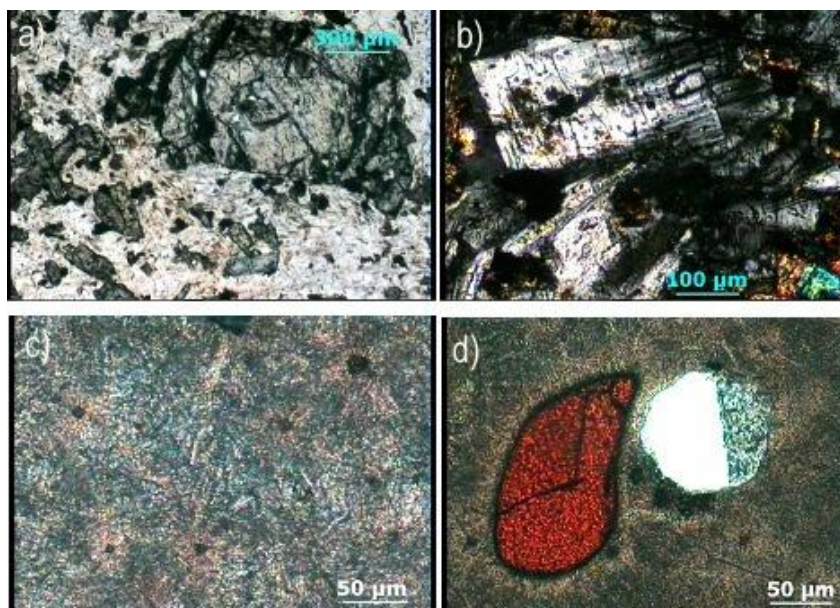
Slika 3. SEM mikrofotografije uzorka bazalta: a. rovni bazalt; b. liveni bazalt.



Slika 4. Prisutni mehuri u strukturi bazalta: a. uzorak RB; b. uzorak LB.

Osnova ispitivanog uzorka rovnog bazalta, slika 3a izgrađena je od mikrokristalastog plagioklasa. Od fenokristala utvrđeni su olivini, rombični pirokseni i rede bazični plagioklasi. Struktura stene bazalta je predstavljena olivin-piroksenskim bazaltom. Osnova ispitivanog uzorka LB izgrađena je kriptokristalasta sa pojavom sitnih kristala, slika 3b. Struktura uzorka je nehomogena, sastavljena od različitih agregata između kojih se vidi jasna granica. Pojedini kristali u kriptokristalastoj- staklastoj osnovi bazalta su termički izmenjeni. Prisutni mehuri na površini uzorka izazivaju hrapavost površine i pojavu jamica. Kod uzorka RB prisutan je veći broj sitnih mehura, slika 4a, dok su kod uzorka LB sadržani mehuri većih dimenzija uklopljeni u kriptokristalastu -staklastu osnovu, slika 4b.

Na slici 5 prikazana je struktura uzorka RB snimljena na polarizacionom mikroskopu.



Slika 5. Mikrofotografije uzorka RB i LB: a. kristal olivina u osnovi plagioklasa; b. izduženi fenokristali plagioklasa; c.kriptokristalasta staklasta osnova uzorka livenog bazalta; d.izmenjeni spinel sa mehurom delimično zapunjenim staklom.

Na slici 5.a prikazan je veliki kristal olivina uklopljen u osnovnu masu plagioklasa, uzorak RB. Fenokristali bazičnog plagioklasa su izduženi, uzorak RB, slika 5.b. Struktura uzorka livenog bazalta je kriptokristalaste staklaste osnove, slika 5c. U staklastoj osnovi

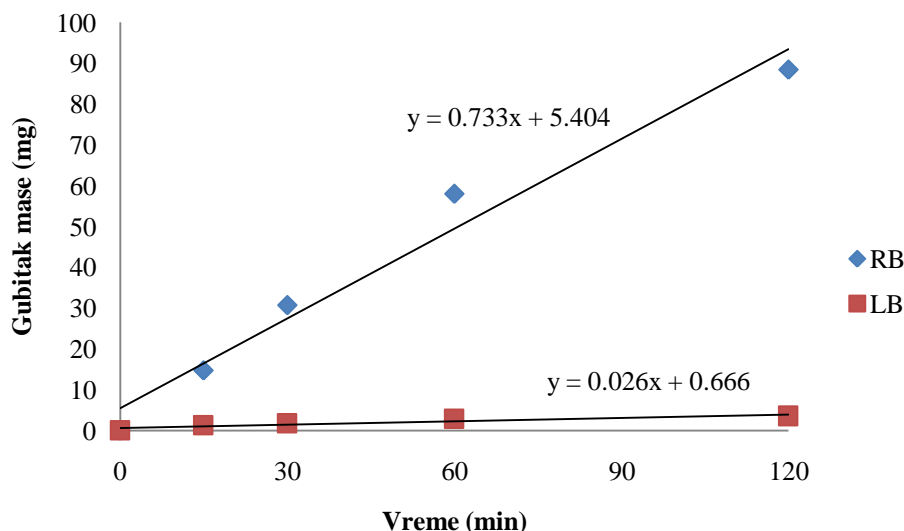
uklopljeni su transformisani spineli i transformisani pirokseni sa mehurom delimično zapunjen staklom, slika 5.d. Tokom ispitivanja uzoraka rovnog i livenog bazalta pod dejstvom kavitacije praćena je promena prisutnih mehura sadržanih u osnovi bazalta, kao i prisutnih jamica na površini uzorka.

10.4. Karakterizacija rovnog i livenog bazalta tokom ispitivanja pod dejstvom kavitacije

10.4.1. Promena mase uzorka tokom kavitacionih ispitivanja

Za definisanje kavitacionih brzina uzoraka rovnog i livenog bazalta korišćen je dijagram zavisnosti gubitka mase u toku vremena ispitivanja, slika 6. Gubitak mase nastale kavitacionim oštećenjem nanosi se na ordinatnu a vremenski intervali dati su na apscisi. Metodom najmanjih kvadrata tačke dijagrama aproksimirane su pravom čiji tangens nagiba definiše kavitacionu brzinu.

Analizirajući progresiju oštećenja uzoraka LB može se zaključiti da je gubitak mase mali, u prvih 15 min gubitak mase je 1,29 mg i blago se povećava do gubitka mase od 3,53 mg za 120min ekspozicije. Kod uzoraka RB evidentno je da je inkubacioni period u ranoj fazi oštećenja kratak, jer je period bez gubitka mase gotovo zanemarljiv. Prema odabranim uslovima ispitivanja u prvih 15 min gubitak mase uzorka RB je do 15 mg, i kako se vreme ekspozicije povećava, kumulativni gubitak mase uzorka postepeno se povećava, skoro linearno do 88,5 mg za 120 min ekspozicije.

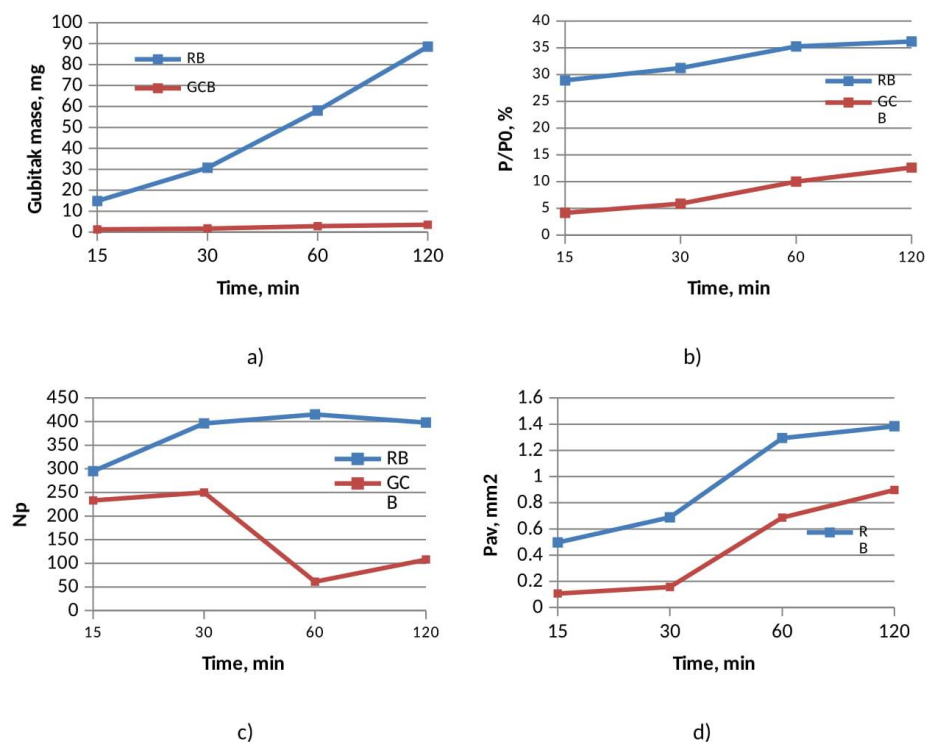


Slika 6. Gubitak mase u toku ispitivanja na dejstvo kavitacije.

Pokazano je da uzorci LB imaju znatno veći stepen otpornosti na dejstvo kavitacije sa kavitacionom brzinom 0,03 mg/min u odnosu na uzorke RB sa kavitacionom brzinom 0,74 mg/min. Veća kavitaciona brzina uzoraka RB u odnosu na uzorke LB može se tumačiti grubljom strukturom olivin-piroksenskog bazalta, RB uzorka, u odnosu na kompaktnu strukturu uzoraka LB, sa staklastom i fluidnom teksturom, veoma velike tvrdoće, koja takođe doprinosi povećanju otpornosti LB uzoraka prema dejstvu kavitacije.

10.4.2. Primena analize slike za praćenje kavitaciono degradacionih procesa uzoraka bazalta

Na slici 7 prikazani su rezultati ispitivanja uzoraka rovnog i livenog bazalta tokom kavitaciono erozionog testiranja. Za analizu kavitacionog habanja uzoraka praćene su promene mase uzoraka, (mg) u funkciji vremena ispitivanja, slika 7.a i promene površine uzoraka tokom ekspozicije, praćene analizom slike: nivo degradacije površine uzoraka, P/P_0 (%); broj formiranih jamica, N_p ; srednja površina formiranih jamica, P_{av} , mm^2 , prikazanih na slkama 7.b,c,d, respektivno.



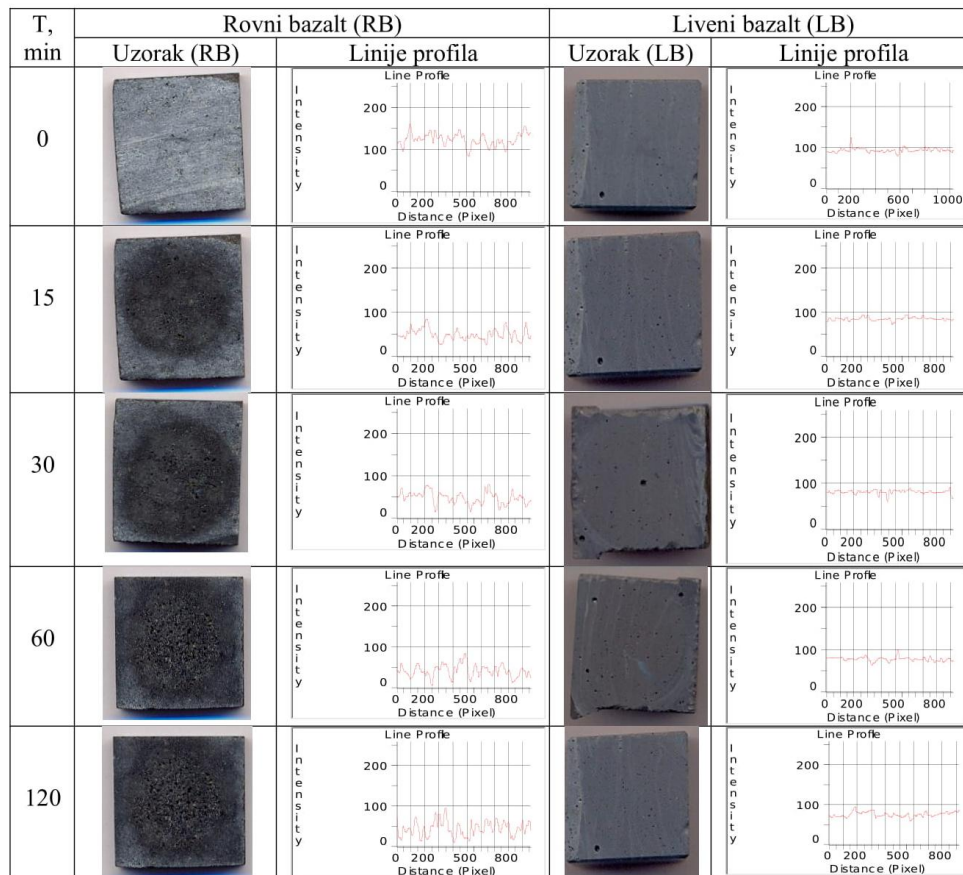
Slika 7. Rezultati ispitivanja uzoraka rovnog bazalta (RB) i livenog bazalta (LB) tokom kavitaciono erozionog testa: a. gubitak mase uzoraka, mg; b. nivo deradacije površine, P/P_0 , %; c. broj formiranih jamica, N_p ; d. srednja površina formiranih jamica, P_{av} , (mm^2).

Uzorci RB i LB fotografisani su pre i tokom kavitaciono erozionog testa, prikazano na slici 8. Konstatovano je da se kod uzorka LB javljaju manja oštećenje površine u odnosu na uzorke RB i gotovo ne dolazi do promene dimenzija jamica koje su postojale na površini uzorka pre testiranja.

Linije profila uzoraka LB su ravnomerne, a pojedinačni pikovi, koji su prisutni na istim mestima na površini uzorka, odnose se na prisutne pojedinačne jamice, uzrokovane prisustvom mehura u strukturi, koje su identifikovane pre početka testiranja, slika 8.

Kod uzorka RB početne jamice na površini i prisutna hrapavnost (za vreme $t=0$ min) se menjaju i povećavaju dimenzije tokom vremena izlaganja kavitaciji, što se može videti na većim promenama linija profila uzoraka RB tokom testiranja, slika 8. Linije profila pokazuju da je

degradacija u središtu površine uzorka, s obzirom na intenzitete vrhova linija profila koji se manjaju i povećavaju, već od 15 min ekspozicije do 120 min, kada su prisutna znatna oštećenja površine uzoraka RB.



Slika 8. Makrofotografije uzoraka RB i LB pre i tokom kavitaciono erozionog testa sa odgovarajućim linijama profila dobijenim analizom slike.

Rezultati prikazani na slici 8 odgovaraju rezultatima oštećenja površine uzoraka RB i LB određenih primenom analize slike na fotografijama površina uzoraka tokom vremena delovanja kavitacije, obrađenim i analiziranim primenom softverskog programa Image Pro Plus, prikazano na slici 7.b.

Na kraju vremena ispitivanja od 120 min kod uzoraka LB uočene su male promene na površini uzorka, sa znatno manjim brojem sitnih jamica u odnosu a uzorke RB kod kojih je površina oštećena u većem stepenu sa pojavom mnoštva jamica koje se na pojedinim mestima međusobno spajaju u veće i dublje jamice. To odgovara i rezultatima postepenog gubitka mase uzorka tokom testiranja, slika 7.a i maloj kavitacionoj brzini 0,03 mg/min, prikazano na dijagramu kavitacionih brzina, slika 6. Na kraju ispitivanja oštećenje površine uzoraka LB je 12%, dok je oštećenje uzoraka RB veće od 35%, prikazano na slici 7.b. To ogovara rezultatima određivanja broja formiranih jamica i vrednostima srednje površine formiranih jamica, P_{av} prikazano na slici 7.c i 7.d.

U uzorku RB prisutni su brojni sitni mehuri u strukturi (slika 4.a), koji formiraju mnoštvo sitnih jamica na površini uzorka, što utiče na povećanje hrapavosti površine (slika 8, RB uzorak za $t=0$ min). Delovanjem procesa kavitacije broj formiranih novih jamica se postepeno povećava do 60 min ekspozicije, zatim do 120 min broj jamica blago opada, što ukazuje da se jamice na pojedinim mestima međusobno spajaju, slika 7.c. Porast broja i veličine jamica, koje se na pojedinim mestima međusobno spajaju i formiraju veće i dublje jamice, utiče na povećanje oštećenja površine uzorka, slika 8. Veće i dublje jamice na oštećenoj površini uzorka RB uslovljavaju fokusiranje energije udarnih talasa nastalih implozijom kavitacionih mehura čime se intenzivira efekat dejstva kavitacije. Analiza slike uzorka RB pokazala je da stvaranje većeg broja manjih jamica na površini uzorka i njihovo povezivanje u veće i dublje jamice doprinosi oštećenju površine uzorka, tako da je nakon 120 min delovanja kavitacije nivo degradacije površine 35%, slika 7.b.

Kod uzorka LB prisutni su pojedinačni veći mehurovi u strukturi (slika 4.b), prisutne su pojedinačne veće i manje jamice na površini uzorka pre početka delovanja kavitacije, (slika 8, za vreme $t= 0$ min). Na površini uzorka LB ne uočavaju se nikakve promene posle 30 i 60 min delovanja procesa kavitacije. U početku delovanja kavitacije, do 30 min formira se veoma mali broj sitnih novih jamica, do 60 min broj jamica naglo opada, najverovatnije usled njihovog međusobnog spajanja, od 60 -120 min ekspozicije blago se povećava broj formiranih jamica, slika 7.c. Pri tome postepeno raste srednja površina formiranih jamica, slika 7.d. Analiza slike uzorka LB pokazala je da početne jamice na površini uzorka nastale najverovatnije usled prisustva mehura u strukturi, ne menjaju se tokom ekspozicije, što se vidi i na makrofotografijama uzorka LB tokom testiranja, slika 8. Stvaranje manjeg broja jamica manje oštećuje površinu uzorka LB, tako da je nakon 120 min delovanja kavitacije oštećenje površine je ispod 12%, slika 7.b.

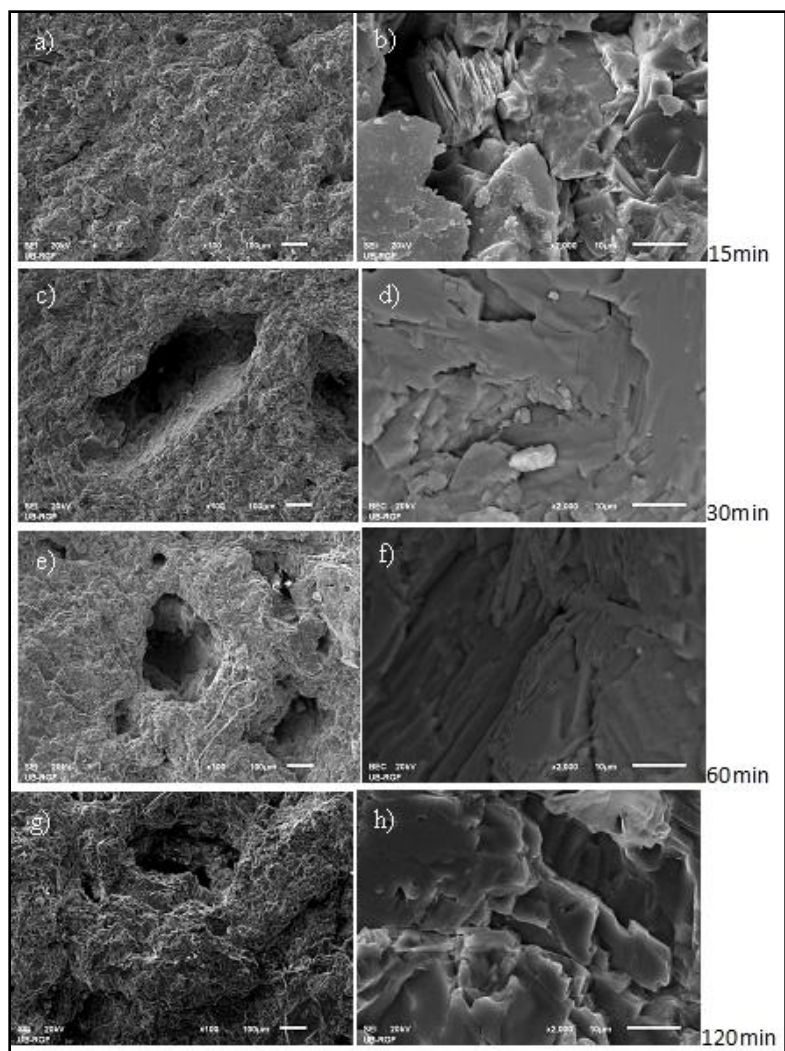
Mehanizam formiranja i rasta jamica na površini uzorka RB mogao je da se prati analizom slike, počev od rane faze procesa kavitacije, nakon 15 min ekspozicije pa do kraja testiranja u trajanju 120 min. Kod uzorka LB sitne jamice formirane na površini uzorka nakon 30 min delovanja kavitacije veoma malo su menjale oblik i dimenzije do kraja testiranja.

10.4.3. Promena morfologije oštećenja površine uzorka

Promena morfologije površine uzorka RB i LB sa vremenom ispitivanja praćena je primenom skenirajuće elektronske mikroskopije slike 9 i 10.

Kod uzorka RB, delovanjem procesa kavitacije u trajanju 15 min povećava se postojeća hrapavost površine i formiraju se plitke jamice (slika 9.a). Jamica u olivin- piroksenskoj strukturi bazalta je oštih ivica, najverovatnije je nastala erodiranjem ivica kristala oko postojećeg mehura (slika 9.b).

Ekspozicija 30 min uticala je na povećanje dimenzija formiranih jamica (slika 9.c.d). Izgled jamice sa erodiranim površinama, nastalih povećanjem gubitka mase uzorka pod dejstvom kavitacije, prikazan je na slici 9.d.



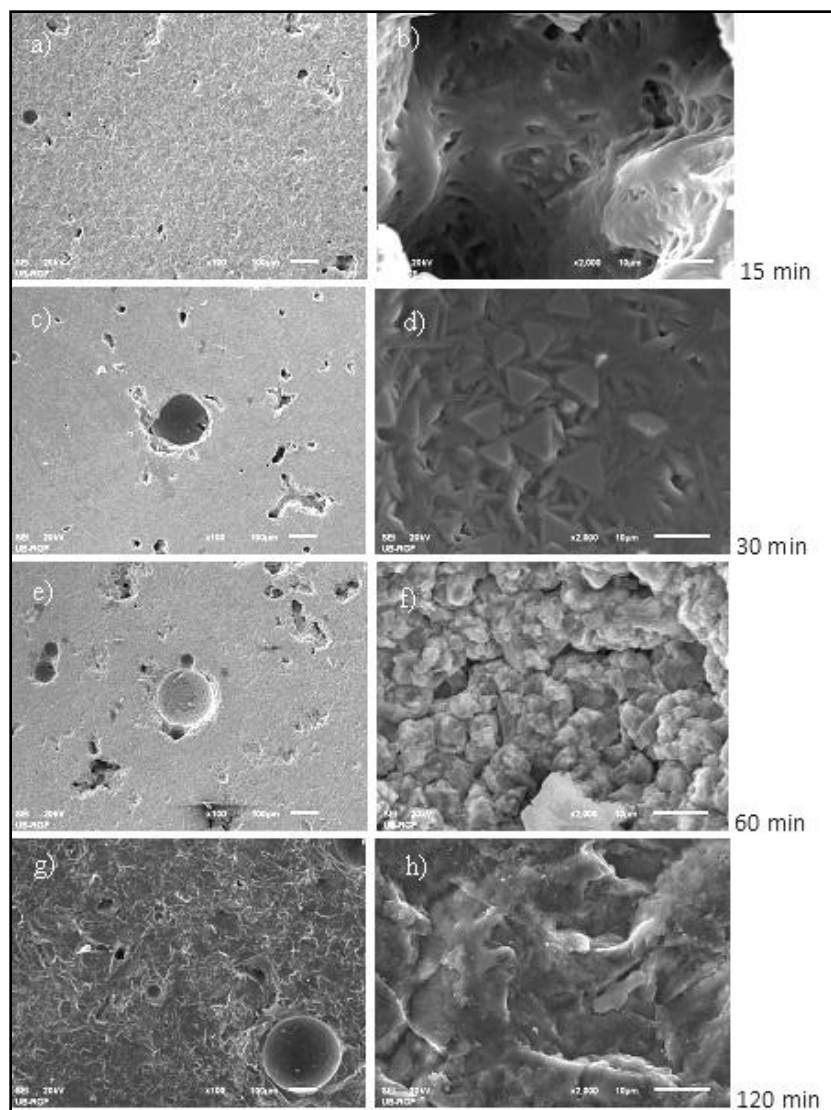
Slika 9. SEM mikrofotografije erodiranih površina uzorka rovnog bazalta sa različitim uvećanjima (100× levo, 2000× desno) i vremenima dejstva kavitacije: a, b) 15 min; (c, d) 30 min; (e, f) 60 min; (g, h) 120 min.

Delovanje kavitacije u trajanju 60 min uticalo je na dalju degradaciju površine uzoraka. Formirano je mnoštvo novih jamica. Postojeće jamice su se povećale daljim erodiranjem površine i daljim gubitkom mase uzorka (slika 9.e,f).

Na kraju ispitivanja pod dejstvom kavitacije, u trajanju 120 min, površina uzorka rovnog bazalta je dosta oštećena (slika 9.g). Pokazalo se da prisutni kristali minerala olivina i piroksena su različito erodirali (slika 9.h) što ukazuje na njihovu različitu otpornost pod dejstvom kavitacije.

Promena morfologije oštećenja površine uzorka LB prikazana je na slici 10.

Na početku ispitivanja, za 15 min delovanja kavitacije nije došlo do značajnijih promena površine uzorka. Postojeće jamice na površini su uzrokovane mehurima u osnovi bazalta (slika 10.a,b).



Slika 10. SEM mikrofotografije erodiranih površina uzorka LB sa različitim uvećanjima (100× levo, 2000× desno) i vremenima dejstva kavitacije: (a, b) 15 min; (c, d) 30 min; (e, f) 60 min; (g, h) 120 min.

Delovanjem kavitacije u toku 30 min došlo je do malih promena površine uzorka, slika 10.c. Postojeći mehuri u kriptokristalastoj strukturi uzorka LB ispunjeni su staklastom masom (slika 10.d).

Delovanjem kavitacije 60 min javlja se promena površine jamica ispunjenih sa staklastom masom, slika 10.e,f.

Na kraju ispitivanja, vreme 120 min, vidi se pojava erozije jamice u blizini postojećeg mehura u osnovi bazalta, slika 10.g, h.

10.5. Zaključci i primena tehničkog rešenja

U tehnološkom rešenju su prikazani efekti primene ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom za određivanje kavitacionih oštećenja bazalta. Cilj je bio utvrđivanje mogućnosti primene livenog bazalta za dobijanje konstrukcionih elemenata opreme u metalurgiji i rudarstvu koji su u radu izloženi visokim kavitacionim opterećenjima. Analiza gubitka mase i progresije erozije površine uzoraka tokom delovanja procesa kavitacije pokazala je različite efekte kavitacionih oštećenja uzoraka rovnog bazalta (kao polaznog materijala) i uzoraka livenog bazalta dobijenih topljenjem i livenjem bazaltnih stena, a odgovarajućim termičkim tretmanom.

Kod uzoraka rovnog bazalta evidentno je da je inkubacioni period u ranoj fazi kavitacionih oštećenja kratak, jer je period bez gubitka mase gotovo zanemarljiv. Prema odabranim uslovima testiranja u prvih 15 min gubitak mase ovih uzoraka je do 15 mg, i kako se vreme ekspozicije povećava, kumulativni gubitak mase uzorka postepeno se povećava, skoro linearno do 88.5 mg za 120 min ekspozicije, sa kavitacionom brzinom 0,74 mg/min i ukupnim oštećenje površine uzoraka 35%.

Analizirajući progresiju erozije uzoraka livenog bazalta može se zaključiti da je gubitak mase mali, u prvih 15 min gubitak mase je 1.29 mg i blago se povećava do gubitka mase od 3.53 mg za 120min ekspozicije, sa kavitacionom brzinom 0.03 mg/min i ukupnim oštećenjem površine uzoraka 12%. Veća brzina erozije kod uzorka rovnog bazalta u odnosu na uzorke livenog bazalta može se tumačiti grubljom strukturom olivin-piroksenskog bazalta iz ležišta Vrelo-Kopaonik, u odnosu na kompaktnu strukturu dobijenih livenih uzoraka, sa staklastom i fluidnom teksturom, veoma velike tvrdoće.

Promena morfologije površine uzoraka praćena skenirajućom elektronskom mikroskopijom pokazala je da oštećenja površine uzoraka rovnog bazalta započinju pojavom većeg broja sitnih jamica na površini uzorka, koje daljom ekspozicijom se povećavaju i na pojedinim mestima međusobno spajaju i formiraju veće i dublje jamice koje oštećuju površinu uzoraka.

Na uzorcima livenog bazalta javljaju se sitne jamice na površini tek nakon 30min ekspozicije, a daljim tokom ispitivanja veoma malo menjaju oblik i dimenzije do kraja testiranja. Kod oba uzorka konstatovano je da, pri dužem delovanju kavitacije (120 min), dolazi do povećanja erozije površine jamica formiranih u blizini mehurova prisutnih u osnovi bazalta.

Istraživanja su pokazala da procesi dobijanja uzoraka livenog bazalta veoma utiču na kavitacionu otpornost posebno procesi relaksacionog hlađenja koji eliminišu unutrašnja naprezanja i smanjuju krtost uzoraka. Pokazano je da uzorci livenog bazalta dobijeni iz olivin-piroksenskog bazalta iz ispitivanog ležišta mogu da se primene u uslovima u kojima se očekuju visoka kavitaciona opterećenja.

10.6. Podrška privrednog subjekta/korisnika rezultata

Na osnovu dobijenih rezultata u toku ispitivanja procesa sinteze livenog bazalta, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina dao je podršku realizacije ovog tehničkog rešenja koje je proizašlo iz istraživanja na projektima TR 34006 finansiranih od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj u periodu 2011-2020. Ovo tehničko rešenje može da nađe primenu u praksi, a pomenuta potvrda/dokaz o uspešno sprovedenim ispitivanjima se nalazi u prilogu. Novi proizvod (liveni bazalt) može da ima ulogu kao zamena za metalne materijale.

11) TEHNIČKA DOKUMENTACIJA u prilogu

Prilog 1. Potvrda korisnika tehničkog rešenje (ITNMS, Beograd)

Prilog 2. Potvrda o primeni tehničkog rešenje (ITNMS, Beograd)

Prilog 3. Potvrda da je tehničko rešenje rezultat projekta TR 34006

Prilog 4. Recenzija 1 (prof dr Radica Prokić-Cvetković, dipl. ing. metalurgije)

Prilog 5. Recenzija 2 (prof dr Snežana Grujić, dipl.ing. hem.tehnologije)

Prilog 6. Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešanje za svakog od autora pojedinačno.

Prilog 7. Dokaz o publikaciji u časopisu kategorije M22

Literatura

1. S. Suslick, A. Crum, Handbook of Acoustics, Wiley, New York, (1994).
2. M. Dojčinović, Chem.Ind 67 (2) (2013) 323-330.
3. V. Aleksić, M. Dojčinović, Lj. Milović, I. Samardžić, Metalurgija, 55 (2016) 3 423-425.
4. J.R. Laguna-Camacho, R. Lewis, M. Vite-Torres, J.V. Mendez-Mendez: A study of cavitation erosion on engineering materials, Wear 2013, 301, 467-476.
5. M. Dojčinović: Comparative cavitation erosion test on steels produced by ESR and AOD refining, Mater. Sci. Poland 2011, 29, 216-222.
6. A. Pola, L. Montesano, M. Tocci, G.M.La Vecchia: Influence of Ultrasound Treatment on Cavitation Erosion Resistance of AlSi7 Alloy, Materials 2017, 10, 256-268.
7. C. Feng, J. Shuyun, Appl. Surf.Sci., 292 (2014) 16.
8. M. Dular, B. Stoffel, B. Sirok, Wear 261 (2006) 642-655.
9. M. Dular, A. Osterman, Wear 265 (2008) 811-820.
10. N. Qiu, L. Wang, S. Wu, D.S. Likhachev, Eng. Fail. Anal., 55 (2015) 208.
11. D. Niebuhr, Wear 263 (2007) 1-6, 295-300.
12. W. J. Tomlinson, A. S. Bransden, Wear, 185 (1995) 59.
13. R. Jasinowski, Z. Pedzich, D. Zasada, W. Przetakiewicz: Cavitation Erosion of FeAl Intermetallics Alloy and Al₂O₃ -based Ceramics, Arch. Metall. Mater. 2015, 60, 671-675.
14. G. García-Atance Fatjó, M. Hadfield, K. Tabeshfar: Early stage cavitation erosion within ceramics- An experimental investigation, Ceram. Int., 37 (2011) 1919.
15. Barth T. F.: Theoretical petrology, New Jork-London, (1962).
16. B. Matović, S. Bošković, J.Serb.Chem.Soc. 68 (6) (2003) 505-510.
17. D. Čikara, A. Todić, D. Čikara-Anić, FME Transactions 38 (2010) 203-207.
18. M. Cosić, M. Logar, B. Marović, V. Poharc- Logar, Sci. of Sinter. 42 (2010), 383-388, doi: 10.2298/SOS1003383C.

19. Pavlović M., Grujić S., Terzić A., Andrić Lj, In Proceedings of Serbian Ceramic Society Conference -Advanced Ceramic and Application II – New frontiers in multifunctional material science and procession, Book of Abstracts, Belgrade, Serbia (30.09-01.10.2013) pp. 36 (P7), ISBN 978-86-915627-1-7, COBISS-SR-ID 201203212.
20. M. Pavlović, M. Dojčinović, R. Prokić-Cvetković, Lj. Andrić: Nastajanje i razvoj oštećenja pod dejstvom kavitacije na uzorcima livenog bazalta, *Zaštita materijala*, 60 (2) (2019) 1-8, ISSN: 0351-9465.
21. A. Prstic, Z. Aćimovic, M. Cosic, Lj. Andric, Z. Tanasković, In Proceedings of XI Balkan Mineral Processing Congress, Tirana, Albania, 2005, p.422 – 425.
22. Prstić A, R. Simić, Lj. Andrić, Z. Acimovic, In Proceedings of Mineral Processing in 21st Century –X Balkan Mineral Processing Congress, Varna, Bulgaria, 2003, p. 893-897.
23. A. Prstić, Z. Aćimović, Lj. Pavlović, Lj. Andrić, A.Terzić, *Journal of Mining and Metallurgy*, 43 (2007) 1, Section A: Mining, 53-60.
24. M. Pavlović, M. Sarvan, F. Klisura, Z. Aćimović In Proceedings of 4th Conference Maintenance 2016, Zenica, BiH, 2016, p. 175-183.
25. M. Pavlović, M. Đuričić, A. Mumđić, In Proceedings of Conference SED 2015, Užice, Serbia, (2015), pp.-53-60.
26. Lj. Andrić, Z. Aćimović, M. Trumić, A. Prstić, Z. Tanasković, *Materials and Design*, 33 (2012) 9-13.
27. S. Yilmaz, G. Bayrak, S. Sen S, U. Sen, *Materials and Design*, 27 (2006) 1092–1096.
28. E. Ercenk, S. Ugur, S. Yilmaz, *Ceram. International* 37 (2011) 883-889.
29. A. Karamanov, S. Ergul, M. Afyildiz, M. Pelino: Sinter-crystallization of glass obtained from basaltic tufs, *J. Non-Cryst. Solids* 2008, 354, 290-295.
30. V. Fiore, G. Di Bella, A. Valenza, *Materials and Design*, 32 (2011) 2091–9.
31. MT Dehkordi, H. Nosraty, MM. Shokrieh, G. Minak, D. Ghelli, *Materials and Design* 31(2010) 3835–44.
32. A. Todic, B. Nedeljkovic, D. Cikara, I. Ristovic, *Materials and Design*, 32 (2011) 1677–1683.
33. D. Čikara, N. Bajić, M. Rakin, D. Čikara-Anić, In Proceedings of the XIV International Scientific and Professional Meeting, Ecological Truth- Eco-Ist '10, Soko Banja, Serbia, 2006, pp. 194-198.
34. J. P. Franc, J. M. Michel (Eds): *Fundamentals of cavitation, Series Fluid Mechanics and Its Applications*, 76 (2004), XXII, 306 p., Kluwer Academic Publishers, New York.
35. F. G. Hammit, *Cavitation and multiphase flow phenomena*, McGraw-Hill, New York, 1980
36. S. Hattori, H. Mori, T. Okada, *J. Fluid. Eng.-T ASME*, 1201 (1998) 179.
37. M. Pavlović, M. Dojčinović, Lj. Andrić, J. Stojanović, D. Radulović, M. Petrov, M. Blagojev: Influence of the basalt structure and properties on development the cavitation damage, 50th International October Conference on Mining and Metallurgy, IOC 2018, 30th September – 3rd October 2018, Hotel "Jezero" Bor Lake, Serbia, Proceedings, p.155-158.
38. Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test, G32-92. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02. Philadelphia: ASTM; 1992.

Rezultati istraživanja iz problematike kojom se bavi prikazano tehničko rešenje objavljeni su u publikaciji
- časopisu kategorije M22:
DOI:10.3390/ma12091552., (ISSN: 1996-1944; CODEN: MATEG9), Cavitation wear of Basalt
Glass Ceramic, Materials, 12 (9) (2019) 1552.

Autori tehničkog rešenja:

potpis

dr Marina Dojčinović, dipl. ing. mašin.,
vanredni profesor TMF Beograd

dr Marko Pavlović, master ing,
Kontrol Inspekt, Beograd

dr Ljubiša Andrić, dipl. ing. rudar.,
naučni savetnik ITNMS Beograd

dr Milan Petrov, dipl. ing. rudar.,
naučni savetnik ITNMS Beograd

dr Dragan Radulović, dipl. ing. rudar.,
viši naučni savetik ITNMS Beograd

PREDMET: POTVRDA o primeni Tehničkog rešenja

Primenjujući sopstvene rezultate naučno-istraživačkog rada nastale u okviru projekta iz oblasti Tehnološkog razvoja (TR 34006 - Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina; rukovodilac dr Milan Petrov; nosilac projekta Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina ITNMS, Beograd) ostvaren je sledeći rezultat:

Autori: Dr Marina Dojčinović, vanredni profesor, Dr Marko Pavlović, master inženjer metalurgije, Dr Ljubiša Andrić, naučni savetnik, Dr Milan Petrov, naučni savetnik, Dr Dragan Radulović, viši naučni saradnik

Naziv tehničkog rešenja: „Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazalnog liva“

Naručilac: rešenje je rezultat projekata TR 34006 - Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina; rukovodilac dr Milan Petrov; ITNMS finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u periodu 2011-2020.

Korisnik: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Laboratorija za usitnjavanje i mehanohemijske procese), Bulevar Franše d'Eperea 86, 11000 Beograd.

Kategorija rezultata: M85 – Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji (nije komercijalizovano)

Rešenje je realizovano i u primeni u Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina – ITNMS (Laboratorija za usitnjavanje i mehanohemijske procese), Beograd od 2020 god.

Potvrda se izdaje u cilju verifikacije referenci autora tehničkog rešenja.

Institut ITNMS, Beograd
Pomoćnik direktora za pripremu mineralnih
sirovina i neorganskih tehnologija

Dr Ljubiša Andrić, naučni savetnik

Institut ITNMS, Beograd
direktor

dr Miroslav Sokić, naučni savetnik

Beograd, 2020.

Prilog 2. Potvrda o primeni tehničkog rešenja (ITNMS, Beograd)
kategorije M85 (M85 Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji
(nije komercijalizovano)

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina – ITNMS, Beograd potvrđuje da je kao deo naučno-istraživačkog rada u okviru projekta pod nazivom „Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina“ (broj projekat: TR 34006; rukovodilac: dr Milan Petrov; organizacija koordinator: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina ITNMS, Beograd) koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u periodu 2011-2020, kao rezultat proizašlo tehničko-tehnološko rešenje kategorije M85 (M85 – Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji -nije komercijalizovano) pod nazivom: „Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije livenog bazalta“ autora Marina Dojčinović, Marko Pavlović, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, Dragan Radulović.

Ovo tehničko rešenje koje je rezultat laboratorijskih ispitivanja, ostvarenih u okviru navedenog projekta je primenjeno u laboratorijskim (Laboratorija za usitnjavanje i mehanohemijske procese), kao i u poluindustrijskim uslovima Instituta ITNMS. Na taj način je ovo tehničko rešenje našlo primenu u praksi. Novi poboljšani proizvod, (liveni bazalt) imaće ulogu kao zamena za metalne materijale za izradu delova opreme u metalurgiji i rudarstvu.

Ovo tehničko rešenje, postupak izrade livenog bazalta može da se primeni u proizvodnom polu-industrijsklom pogonu Instituta ITNMS, Beograd.

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina ITNMS, Beograd
Laboratorija za usitnjavanje i mehanohemijske procese

dr Milan Petrov, naučni savetnik

Beograd, 2020.

Potvrda

da je tehničko rešenje pod nazivom: „ Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazalnog liva“, kategorije M85 – Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji (nije komercijalizovano) dobijeno na osnovu rezultata istraživanja u okviru projekta broj TR 34006 - Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina; rukovodilac dr Milan Petrov; nosilac projekta Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina ITNMS, Beograd) finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u periodu 2011-2020.

Rukovodilac projekta TR 34006:

dr Milan Petrov, naučni savetnik

Beograd, 2020.

PREDMET:

RECENZIJAZ TEHNIČKOG REŠENJAZ KATEGORIJE M85- Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji (nije komercijalizovano)

Naziv tehničkog rešenja: „**Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazaltnog liva**“, (autori: Marina Dojčinović, Marko Pavlović, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, Dragan Radulović).

KLJUČNE REČI: bazalt, mlevenje i priprema aglomerata, topljenje bazaltnog agregata i livenje, termički tretman odlivaka, kavitacija, gubitak mase, kavitacione brzine, morfologija oštećenja površine, konstrukcioni/građevinski materijal

Tehničko rešenje je urađeno u okviru projekta **TR 34006** („Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina“), rukovodilac dr Milan Petrov, nosilac projekta - Institut za tehnologiju nulearnih i drugih mineralnih sirovina ITNMS, Beograd koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije 2011-2020.

Tehničko rešenje je rađeno za Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Laboratorija za pripremu mineralnih sirovina) Beograd. Tehničko rešenje je kompletirano 2020. godine, kada je počelo da se primenjuje u Laboratoriji za pripremu mineralnih sirovina ITNMS-a Beograd.

Tehničko rešenje pod nazivom „**Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazaltnog liva**“, odnosi se na naučnu oblast energetika, rudarstvo i energetska efikasnost. Tehničko rešenje predstavlja inovaciju u oblasti procesa mlevenja mineralne sirovine, topljenja i livenja sa termičkim tretmanom, kao i optimizacija metoda karakterizacije materijala. Po prvi put je primenjena ultrazvučna vibraciona metoda sa stacionarnim uzorkom prema standard ASTM G32 za određivanje otpornosti na dejstvo kavitacije uzoraka rovnog i livenog bazalta. Cilj je bio ocena mogućnosti primene livenog bazalta u oblasti metalurgije i rudarstva u procesima u kojima se očekuje prisustvo korozije, habanja, kavitacionih naprezanja.

Problematika razvoja tehnologija prerade nemetaličnih sirovina, a posebno bazaltnih stena u svetu je veoma aktuelna poslednjih decenija. Veći deo proizvoda dobijenih tehnološkom preradom bazalta mogu se svrstati u nove materijale, veoma tražene na svetskom tržištu za široku primenu u uslovima u kojima su prisutne visoke temperature, habanje, korozija, kavitacija. Proizvodi na bazi bazalta primenjuju se kao zamena za metalne materijale. Bazalt poseduje dobra tehnička svojstva i široko se primenjuje u raznim privrednim granama: građevinarstvu, putnoj privredi, za izradu zastora brzih železničkih pruga, za sintezu novih materijala.

Eksperimentalni deo tehničkog rešenja predstavlja osnovu za verifikaciju rezultata a zasnovan je na definisanju procesnih parametara sinteze uzoraka livenog bazalta i ispitivanju njihove otpornosti na dejstvo kavitacije. Za dobijanje unapred zadate strukture i svojstava uzoraka na bazi bazalta istraženi su i definisani postupci pripreme polaznih sirovina procesima drobljenja i mlevenja, kao i postupci sinteze procesima topljenja i livenja, sa termičkim tretmanom.

Istraživanja su pokazala da procesi dobijanja uzoraka livenog bazalta veoma utiču na njihovu otpornost na dejstvo kavitacije. Presudan uticaj na svojstva otpornosti pokazali su procesi relaksacionog hlađenja koji eliminišu unutrašnja naprezanja i smanjuju krtost uzoraka livenog bazalta. Rezultati prikazani u okviru tehničkog rešenja pokazali su da uzorci livenog bazalta dobijeni prikazanim procesima mlevenja, topljenja, livenja i termičkog tretmana mogu da se primene u uslovima u kojima se očekuju visoka kavitaciona opterećenja.

Tehnička dokumentacija sadrži Prijavu tehničkog rešenja, objavljen rad u časopisu kategorije M22.

U dokumentaciji je priložena Potvrda o primeni tehničkog rešenja u Laboratoriji za pripremu mineralnih sirovina ITNMS Beograd, kao i potvrda rukovodioca projekta TR 34006 da je tehničko rešenje rezultat projekta. U dokumentaciji je priložena lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog autora ponaosob.

Na osnovu pregleda dokumentacije može se oceniti da Tehničko rešenje predstavlja inovaciju u oblasti procesa mlevenja mineralne sirovine, topljenja i livenja bazaltnog agregata, sa termičkim tretmanom, kao i optimizaciju metoda karakterizacije materijala. Eksperimentalni deo predstavlja osnovu verifikacije rezultata ovog Tehničkog rešenja. Na osnovu rezultata istraživanja razvijena je metodologija za određivanje otpornosti na dejstvo kavitacije vatrostalnih materijala na bazi bazalta. Tumačenje mehanizama oštećenja površine uzoraka primenom analize slike omogućava praćenje relevantnih parametara nastajanja i razvoja oštećenja površine uzoraka. Određene su kvantitativne mere intenziteta razaranja materijala bazirano je na merenju gubitka mase uzoraka u određenom vremenu izlaganja dejstvu kavitacije i određivanju kavitacionih brzina za svaki uzorak ponaosob.

Na osnovu izloženih argumenata predlažem da se Tehničko rešenje pod nazivom: „Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazaltnog liva“, (autori: Marina Dojčinović, Marko Pavlović, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, Dragan Radulović) prihvati i svrsta u kategoriju **M85**, Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji (nije komercijalizovano), u skladu sa zahtevima Pravilnika Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

Beograd , 11.03.2020. godine

RECENZENT:

Prof.dr Predrag Lazić, Rudarsko geološki fakultet,
Univerzitet u Beogradu

PREDMET:

RECENZIJAZ TEHNIČKOG REŠENJAZ KATEGORIJE M85- Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji (nije komercijalizovano)

Naziv tehničkog rešenja: „**Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazalnog liva**“, (autori: Marina Dojčinović, Marko Pavlović, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, Dragan Radulović).

Tehničko rešenje je sprovedeno u okviru projekata **TR 34006** - Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina.

IZVEŠTAJ RECENZENTA

Tehničko rešenje kategorije M85 pod nazivom „Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazalnog liva“ izloženo je na 20 strana ukupno i obuhvata 1 tabelu i deset slika (od toga su 3 dijagrami). Tehničko rešenje je uređeno u skladu sa zahtevima definisanim u Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučno-istraživačkih rezultata, „Službeni glasnik RS“, br. 24/2016, 21/2017 i 38/2017.

U tehnološkom rešenju su prikazani procesi sinteze livenog bazalta kao i efekti primene ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom prema standardu ASTM G32 za određivanje kavitacionih oštećenja bazalta i ocene mogućnosti primene livenog bazalta za izradu delova opreme u metalurgiji i rudarstvu.

Analiza eksperimentalno postignutih rezultata, gubitka mase i progresije erozije površine uzoraka tokom delovanja procesa kavitacije, pokazala je različite efekte kavitacionih oštećenja uzoraka rovnog bazalta (kao polaznog materijala) i uzoraka livenog bazalta dobijenih topljenjem i livenjem bazaltnih stena, sa odgovarajućim termičkim tretmanom dobijenih odlivaka. Za ocenu kvaliteta dobijenih uzoraka livenog bazalta vršena su uporedna ispitivanja rezultata dobijenih ispitivanjem polaznih uzoraka (bazaltnih stena, rovni bazalt). Za karakterizaciju uzoraka korišćene su metode: rendgenska difrakciona analiza, optička i skenirajuća elektronska mikroskopija, analiza slike primenom kompjuterskog programa Image Pro Plus.

Istraživanja su pokazala da procesi dobijanja uzoraka livenog bazalta veoma utiču na kavitacionu otpornost posebno procesi relaksacionog hlađenja koji eliminišu unutrašnja naprezanja i smanjuju krtost uzoraka. Pokazano je da uzorci livenog bazalta dobijeni iz olivin-piroksenskog bazalta iz ispitivanog ležišta „Vrelo“ - Kopaonik mogu da se primene u uslovima u kojima se očekuju visoka kavitaciona opterećenja. Uzorci rovnog bazalta pokazali su niže vrednosti otpornosti na dejstvo kavitacije i mogu da se koriste u uslovima minornih kavitacionih opterećenja.

Tehnička dokumentacija obuhvata Prijavu tehničkog rešenja i objavljen rad u časopisu kategorije M22. Prilozi sadrže sedam dokumenata sa validnim dokazima o primeni tehničkog rešenja od strane ITNMS Beograd, kao ustanove koja ga koristi i koja je nosilac projekta u okviru kojeg je realizovano ovo tehničko rešenje. Takođe priložena je i lista ranije realizovanih rešenja za svakog autora pojedinačno.

Na osnovu izloženih argumenata predlažem da se Tehničko rešenje pod nazivom „Optimizacija i unapređenje sinteze i karakterizacije bazalnog liva“ prihvati i svrsta u kategoriju **M85**, Novo tehničko rešenje u fazi realizacije, testirano u ovlašćenoj instituciji (nije komercijalizovano), u skladu sa zahtevima Pravilnika Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

Beograd , Mart 2020. godine

RECENZENT:

Dr Anja Terzić, naučni savetnik, IMS, Beograd.

**PRILOG 6: LISTA RANIJE PRIHVAĆENIH TEHNIČKIH REŠANJA ZA
SVAKOG OD AUTORA POJEDINAČNO:**

1. MARINA DOJČINOVIĆ

Bitno poboljšano tehničko rešenje na nacionalnom nivou M-84

1. O.Erić- Cekić, S. Baloš, D. Rajnović, L.Šiđanin, D. Labus, **M. Dojčinović**, Postupak proizvodnjene legiranih ADI materijala sa poboljšanom otporom na kavitaciju, 2014.

Novo tehničko rešenje (nijekomercijalizovano) M-85

2. O.Erić-Cekić, S. Baloš, D. Rajnović, L.Šiđanin, P. Janjatović, M. Dramićanin, **M. Dojčinović**, Postupak proizvodnje legiranih ADI materijala sa visokom otpornošću na kavitaciju, 2018.

2. MARKO PAVLOVIĆ

Nema tehnoloških rešenja

3. LJUBIŠA ANDRIĆ

Novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju, M₈₁

1. Milošević V., **Andrić Lj.**, Todorović D., Ivošević B., Ilić I. "Dobijanje novog proizvoda u pogonu "Mittal" rudnici Prijedor" d.o.o usitnjavanjem limonitne rude klase krupnoće -20,0+1,6 mm i -15,0+1,6 mm", Arhiva ITNMS, TR.19033., Br.1-11., 28.04. 2009. god.
2. Fidančev B., **Andrić Lj.**, Milošević V., Bartulović Z., Todorović D., Jovanović I., Radosavljević S., Stojanović J., Kašić V.: "Optimizacija uslova za koncentraciju Cu, Au, Ag i Mo iz ležišta "Ilovica" Strumica, R. Makedonija", Arhiva ITNMS, Tehničko rešenje br. 1-47, br.44 od 21.09.2012.

Nova proizvodna linija novi materijal industrijski prototip M₈₂

3. Bartulović, Z., **Andrić Lj.**, Milošević V., Todorović D., Gajić M.: "Tehnološki postupak poboljšanja kvaliteta koncentrata kvarcnog peska iz pogona "Srbokvarc"-Rgorina", Arhiva ITNMS, TR.19033., Br.1-12., 28.04. 2009. god.

Novo tehničko rešenje (metoda) primenjeno na nacionalnom nivou, M₈₂

4. Milada Pezo, Lato Pezo, Aca P. Jovanović, Anja Terzić, **Ljubiša Andrić**, Biljana Lončar, Predrag Kojić, Novo tehničko rešenje primenjeno na nacionalnom nivou - Softver za ispitivanje kvaliteta procesa mešanja granulastih i zrnastih materijala pri transportu i mešanju u pužnom transporteru, (**Projekat TR31055**), Arhiva institute za nuklearne

nauke vinča laboratorija za termotehniku i energetiku, br. 013-21-11/2018-300/000, od 20.09.2018.

Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd

Korisnik/naručilac: Institut za opštu i fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd

godina izrade: 2017/18

godina prihvatanja TR od strane MNO: 2018.

5. Dragan Radulović, **Ljubiša Andrić**, Milan Petrov, Jovica Stojanović: Novo tehničko rešenje – Tehnološka ispitivanja i naučno-stručna validacija rude iz ležišta „Kula“ u cilju proširenja eksploatacionog prostora i uvećanja rudnih rezervi Rudnika „Grot“-Kriva Feja (Vranje)

Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, ITNMS, br. od datum., Beograd

Korisnik/naručilac: Rudnik olova i cinka „Grot“ A.D., 17543 Kriva Feja, Vranje,

godina izrade: 2019.

Odluka NV ITNMS o validaciji i verifikaciji 28.11.2019, Upućeno MO na verifikaciju

godina prihvatanja TR od strane MNO:

Novo laboratorijsko postrojenje, novi tehnološki postupak M₈₃

6. Milošević S., Canić N., Mihovilović L., Radosavljević S., **Andrić Lj.** "Tehnologija prerade vanbilnsnih boksita i glina sa područja Like" (originalno tehnološko rešenje), Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše D' epere 86, Beograd 1987.
7. Pavlović Lj., Stamatović M., **Andrić Lj.**, Radosavljević S.: "Tehnološki postupak dobijanja steatita i kordijerita od masa iz domaćih resursa" (novi proizvod i tehnološko rešenje), Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše D' epere 86, Beograd, 1990.
8. Pavlović Lj., **Andrić Lj.**, Petrov M.: "Tehnološki postupak za dobijanje porcelanske mase na bazi visokokvalitetnih domaćih sirovina" Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere 86, Beograd, 1990.
9. Tomašević-Čanović M., **Andrić Lj.**, Đuričić M., Dumić M.: "Tehnološki postupak dobijanja maskirnog pigmenta" Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd, 1993.
10. Milošević S., **Andrić Lj.**, Tomašević-Čanović M., Dimitrijević R.: "Postupak za dobijanje (α -Al₂O₃, korunda) iz metalurške glinice primenom mehanohemijско - termičkog procesa", Patentkomerc, Šumatovačka 108, Beograd, maj 1993.
11. Aćimović-Pavlović Z., **Andrić Lj.**, Milošević V.: "Tehnološko rešenje izrade vatrostalnih premaza na bazi liskuna za primenu u EPC procesu livenja", Arhiva ITNMS, Tehnološki razvoj-Projekat .19033., Br.1-14., 29.10. 2009. god.
12. Radulović D., Jovanović V., Ivošević B, Milošević V., **Andrić Lj.**, Bartulović Z., Todorović D., Ilić I.: "Efikasna primena novoosvojenih tehnoloških znanja u polu-industrijskim uslovima rada u cilju dobijanja koncentrata apatita iz fosfatne rude

- Lisina", Arhiva ITNMS, Tehnološki razvoj-Projekat 19033., Br.4/43-2., 12.03. 2010. god.
13. Kostović M., **Andrić Lj.** Petrov M., Stanković D.: "Novo laboratorijsko postrojenje za merenje struje kratkog spoja u izučavanjima fenomena galvanskog kontakta u pripremi mineralnih sirovina", Arhiva ITNMS, tehničko-rešenje br. 13/10-11, od 08.11.2012.

Bitno poboljšano tehničko rešenje na međunarodnom nivou, M₈₃

14. Dragan Radulović, **Ljubiša Andrić**, Anja Terzić, Jovica Stojanović, Marija Marković, Milan Petrov, Definisane uslova razdvajanja (separacije), posle mlevenja, u mineralnom sistemu pirofilita-kvarca u zasebne proizvode, ležišta „Parsović“ – Konjic (BiH)(**Projekti TR 34013 i TR 34006**)
Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, ITNMS, br. 13/31-6 od 15.08.2018. Beograd
Korisnik/naručilac: A.D. HARBI d.o.o. Tvornička 3, 71210 Sarajevo/Ilidža Bosana i Hercegovina, ID broj: 4200634320001, PDV broj: 200634320001, Reg. broj: 065-0-reg-016-001415./ Tehničko rešenje se primenjuje od 10.04. 2018 god. u ležištu pirofilita „Parsović“-Konjic, u vlasništvu firme A.D. „Harbi“-Sarajevo (BiH)
godina izrade: 2017/18
godina prihvatanja TR od strane MNO: 30. 11. 2018.

Bitno poboljšani postojeći proizvod ili tehnologija, M₈₄

15. Petrov M., **Andrić Lj.**, Milošević S.: "Razvijanje tehničko tehnoloških rešenja za dobijanje obloženih punila", Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd, 1998.
16. Petrov M., **Andrić Lj.**, Milošević S.: "Razvijanje tehničko tehnoloških rešenja za dobijanje protiv požarne smeše", Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd, 1998.
17. Petrov M., **Andrić Lj.**, Milošević S.: "Utvrđivanje uslova oblaganja i hidrofobizacije P.CC i G.CC", Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše d' Eperea 86, Beograd, 2000.
18. Petrov M., **Andrić Lj.**, Milošević S.: "Razvijanje tehničko tehnoloških rešenja za dobijanje obloženih punila", Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše d' Eperea 86, 2000.
19. **Andrić Lj.**, Sekulić Ž., Petrov M., Milošević V., Radulović D., Mihajlović S.: "Primena novog tehničkog rešenja u tehnološkom postupku hidrofobizacije živo mlevenog (negašenog) kreča iz pogona USSB-Kučevo", Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd, Rešenje br. I 16 od 25.11. 2005.
20. Aćimović-Pavlović Z., Simović Z., **Andrić Lj.**, Irić J.: "Poboljšani tehnološki postupak za izradu premaza na bazi talka sa primenom mehaničke aktivacije punila", Realizator: TMF Beograd, Magnohrom Kraljevo, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše d' Eperea 86, 2004., Rešenje br. I 23 od 19.05.2006.

21. Sekulić Ž., **Andrić Lj.**, Petrov M., Bartulović Z., Canić N., Milošević V., Krstović P.: "Mikronizirani liskun dobijen iz flotacijskog koncentrata na bazi sirovine iz DP Feldspat Bujanovac", Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd, Beograd, Rešenje br.0/1 05.07. 2006.
22. Bartulović Z., Milošević V., **Andrić Lj.**: "Mikronizirani feldspat dobijen iz flotacijskog koncentrata na bazi sirovine iz DP "Feldspat"-Bujanovac, Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd, 2007., Rešenje br. I-1 od 19.01.2007.
23. **Andrić Lj.**, Bartulović Z., Milošević V.: "Liskun dobijen iz flotacijskog koncentrata na bazi sirovine iz DP "Feldspat"-Bujanovac", Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd, 2007., Rešenje br. I-2 od 19.01.2007.
24. Aćimović-Pavlović Z., **Andrić Lj.**, Milošević V.: "Tehnološko rešenje izrade vatrostalnih premaza na bazi liskuna za primenu u EPC procesu livenja", TMF Beograd, ITNMS, TR 19033, Arhiva ITNMS Beograd, Rešenje br. I-14, 29.10.2009. (2009)

Bitno poboljšano tehničko rešenje na nacionalnom nivou, M₈₄

25. Milan Trumić, Maja Trumić, Dragan S. Radulović, Anja Terzić, **Ljubiša Andrić**, Milan Petrov, Uticaj smanjenja sadržaja metala u ulaznoj rudi na vrednost Bondovog radnog indexa Pb-Zn rude iz rudnika "Grot"-Kriva Feja - Vranje, (**TR 34006**), Arhiva Tehničkog fakulteta u Boru, Tehničko rešenje br. VI/4, br.17-12, od 06.07.2018.
Verifikacija tehničkog rešenja: Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru
Korisnik/naručilac: Rudnik olova i cinka „Grot“ A.D., 17543 Kriva Feja, Vranje
godina izrade: 2018
godina prihvatanja TR od strane MNO: 25.03.2019.
26. Dragan Radulović, **Ljubiša Andrić** Anja Terzić, Milan Petrov, Jovica Stojanović Milan Trumić, Maja Trumić, Novo tehničko rešenje – Dobijanje koncentrata K/Pb i K/Zn tržišnog kvaliteta postupkom gravitacijske koncentracije bogate rude sa povećanim sadržajem metalnih minerala iz "Pb-Zn" Rudnika Grot, (**Projekti TR 34013 i TR 34006**),
Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, ITNMS, br. 13/28-6 od 22.03.2018., Beograd
Korisnik/naručilac: Rudnik olova i cinka „Grot“ A.D., 17543 Kriva Feja, Vranje,
godina izrade: 2017/18
godina prihvatanja TR od strane MNO: 30.11. 2018.

Prototip, nova metoda, M₈₅

27. Petrov M., **Andrić Lj.**, Milošević S.: "Osvajanje prototipa uređaja za dezintegraciju i mehaničku aktivaciju mineralnih sirovina", Institut za Tehnologiju Nuklearnih i drugih Mineralnih Sirovina, Franše D' epere-a 86, Beograd., 2000.

Novo tehničko rešenje (nije komercijalizovano), M₈₅

28. Anja Terzić, Lato Pezo, **Ljubiša Andrić**, Maja Trumić, Optimizacija i unapređenje procesa mecano-hemijske aktivacije zeolita pomoću matematičkog modela zasnovanog na veštačkim neuronskim mrežama, (**Projekti OI 172057 i TR 34006**) Arhiva Tehničkog fakulteta u Boru, Tehničko rešenje br. VI/4, br.264-2, od 01.02.2018.

Verifikacija tehničkog rešenja: Tehnički fakultet u Boru, Univerziteta u Beogradu, Vojske Jugoslavije 12, Bor

Korisnik/naručilac: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Laboratorija za pripremu mineralnih sirovina), Beograd.

godina izrade: 2017/18.

godina prihvatanja TR od strane: MNO 25.03. 2019.

4. MILAN PETROV

M 81 – Novi proizvod-tehnologija na medjunarodnom nivou - 8

1. **Milan Petrov**, dipl ing rud, Živko Sekulić, Vladimir Jovanović, Branislav Ivošević, Miodrag Gaić, Dejan Todorović, Miloš Đokanović, Željko Dragić, *Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice birač -zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modeliranja*, ITNMS, 2011., Novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju, priznat programski sistem. M₈₁
2. **Milan Petrov**, Živko Sekulić, Vladimir Jovanović, Branislav Ivošević, Miodrag Gajić, Zoran Bartulović, Miloš Đokanović, Željko Dragić, *Nova tehnologija mokrog mlevenja kvarcnog peska u ad-boksit milići i određivanje specifičnog kapaciteta mlina sa sileks kuglama*, ITNMS, 2011., Novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju, priznat programski sistem. M₈₁
3. Živko Sekulić, **Milan Petrov**, Vladimir Jovanović, Branislav Ivošević, Velimir Antanasković, Miloš Đokanović, Željko Dragić, *Uvođenje novog tehnološkog postupka valorizacije kvarcne sirovine iz ležišta „Bijela Stijena-Skočić” u proizvodnju revitalizacijom stare separacije u Lukića Polju u okviru kompanije AD BOKSIT Milići*, ITNMS, 2011., Novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju, priznat programski sistem. M₈₁.

M₈₂ Novo laboratorijsko postrojenje, novi tehnološki postupak 6

4. Dragan S. Radulović, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, Jovica Stojanović, Branislav Marković, **Novo tehničko rešenje –Tehnološka ispitivanja i naučno-stručna validacija rude iz ležišta „Kula“ u cilju proširenja eksploatacionog prostora i uvećanja rudnih rezervi Rudnika „Grot“-Kriva Feja (Vranje), Odluka NV ITNMS o validaciji i verifikaciji 28.11.2019, Upućeno MO na verifikaciju, M₈₂**

M 83 –Novo eksperimentalno postrojenje

5. **Milan Petrov**, Radmila Marković, Ljiljana Mladenović, Melina Vukadinović, *Valorizacija mineralnog otpada iz borske flotacijske jalovine*, ITNMS, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010., Novo laboratorijsko postrojenje. M₈₃
6. **Milan Petrov**, Vladimir Jovanović, Slavica Mihajlović, Melina Vukadinović: *Eksperimentalno postrojenje osmoza flotacije višefaznih disperznih sistema*, ITNMS, 2010. Novo laboratorijsko postrojenje. M₈₃
7. Siniša Milošević, Snežana Pašalić, **Milan Petrov**: Novi proizvod LI-FOS, dobijen tehnologijom mehaničke aktivacije apatita iz fosfatne rude lisina, (novi proizvod i tehnološko rešenje ITNMS Beograd, 1994. M₈₃
8. Magdalena Tomašević-Čanović, Ljubiša Andrić, **Milan Petrov**, Milutin Dumić: Tehnološki postupak dobijanja maskirnog pigmenta, ITNMS, Franše d'Epere-a 86, Beograd, 1993. M₈₃
9. Ljubica Pavlović, Ljubiša D. Andrić, **Milan Petrov**: Tehnološki postupak za dobijanje porcelanske mase na bazi visokokvalitetnih domaćih sirovina, ITNMS, Franše d'Epere 86, Beograd, 1990. M₈₃
10. Siniša Milošević, Neda Canić, Lucija Mihovilović, Slobodan Radosavljević Ljubiša Andrić, **Milan Petrov**: Tehnologija prerade vanbilnsnih boksita i glina sa područja Like (originalno tehnološko rešenje), ITNMS-Beograd 1987. M₈₃

M 84 - Bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologija

11. **Milan Petrov**, Radmila Marković, Ljiljana Mladenović, Slavica Mihajlović, Vladimir Jovanović, Melina Vukadinović, Branislav Ivošević, *Modifikovanje površine nemetalne mineralne komponente BFJ za proizvodnju hidrauličnog vezivnog sredstva u građevinarstvu*, ITNMS 2010, Projekat MNTR br. TR 19021, Nov način upotrebe postojećeg proizvoda, Bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologija. M₈₄
12. **Milan Petrov**, Radmila Marković, Ljiljana Mladenović, Branislav Ivošević, Melina Vukadinović, *Tehnološki postupak prerade mehano-hemijski aktiviranog pirita borske flotacijske jalovine*, ITNMS, 2010. Projekat MNTR br. TR 19021, Nov način upotrebe postojećeg proizvoda, Bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologije. M₈
13. Živko Sekulić, Ljubiša D. Andrić, **Milan M. Petrov**, Zoran Bartulović, Neda Canić, Vladan Milošević, Petar Krstović: Mikronizirani liskun dobijen iz flotacijskog koncentrata na bazi sirovine iz DP Feldspat Bujanovac, ITNMS, Beograd, 2006. M₈₄
14. Ljubiša D. Andrić, Živko T. Sekulić, **Milan M. Petrov**, Vladan Milošević, Dragan Radulović, Slavica Mihajlović, Primena novog tehničkog rešenja u tehnološkom postupku hidrofobizacije živo mlevenog (negašenog) kreča iz pogona USSB-Kučevo, ITNMS Beograd, 2005. M₈₄
15. **Milan Petrov**, Vladimir Jovanović, Dejan Todorović: Prototip uređaja za ekspanzionu osmotsku flotaciju u sistemima za pripremu i prečišćavanje otpadnih voda, ITNMS, Franše d' Eperea 86, Beograd, 2004. M₈₄
16. **Milan Petrov**, Vladimir Jovanović, Dejan Todorović: Bitno poboljšanje kvaliteta prečišćene industrijske vode u ekspanzionoj osmotskoj flotaciji upotrebom (OMK) reagensa, ITNMS, Franše d' Eperea 86, Beograd, 2004. M₈₄
17. **Milan Petrov**, Ljubiša Andrić, Dragan Radulović: Osvajanje prototipa uređaja za dezintegraciju i mehaničku aktivaciju mineralnih sirovina, Arhiva ITNMS, Beograd, 2000. M₈₄

18. **Milan Petrov**, Ljubiša Andrić, Siniša Milošević: Utvrđivanje uslova oblaganja i hidrofobizacije PCC i GCC, ITNMS, Franše d' Eperea 86, Beograd, 2000. M₈₄
19. **Milan Petrov**, Lj. Andrić, S. Milošević: Razvijanje tehničko-tehnoloških rešenja za dobijanje obloženih punila, ITNMS, Franše d' Eperea 86, Beograd (2000.). M₈₄
20. **Milan Petrov**, Ljubiša Andrić, Siniša Milošević: Razvijanje tehničko tehnoloških rešenja za dobijanje protiv požarne smeše, ITNMS, Beograd, 1998. M₈₄

M 85 - Prototip, nova metoda,

21. Milena Kostović, Ljubiša Andrić, **Milan Petrov**, Dragan Stanković: *Novo laboratorijsko postrojenje za merenje struje kratkog spoja u izučavanjima fenomena galvanskog kontakta u pripremi mineralnih sirovina*, ITNMS Beograd, 2012., Nova metoda, prototip. M₈₅

Bitno poboljšano tehničko rešenje na međunarodnom nivou M84 – 3

22. (**M- 83**) Dragan Radulović, Ljubiša Andrić, Anja Terzić, Jovica Stojanović, Marija Marković, **Milan Petrov**, *Definisanje uslova razdvajanja (separacije), posle mlevenja, u mineralnom sistemu pirofilita-kvarca u zasebne proizvode, ležišta „Parsović“ – Konjic (BiH)(Projekti TR 34013 i TR 34006),*

Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, ITNMS, br. 13/31-6 od 15.08.2018. Beograd

Korisnik/naručilac: A.D. HARBI d.o.o. Tvornička 3, 71210 Sarajevo/Ilidža Bosana i Hercegovina, ID broj: 4200634320001, PDV broj: 200634320001, Reg. broj: 065-0-reg-016-001415./ Tehničko rešenje se primenjuje od 10.04. 2018 god. u ležištu pirofilita „Parsović“-Konjic, u vlasništvu firme A.D. „Harbi“-Sarajevo (BiH)

godina izrade: 2017/18

godina prihvatanja TR od strane MNO: 2018.

Bitno poboljšano tehničko rešenje na nacionalnom nivou M84 - 3

23. Dragan S. Radulović, Ljubiša Andrić, Anja Terzić, **Milan Petrov**, Jovica Stojanović Milan Trumić, Maja Trumić, *Novo tehničko rešenje – Dobijanje koncentrata K/Pb i K/Zn tržišnog kvaliteta postupkom gravitacijske koncentracije bogate rude sa povećanim sadržajem metalčnih minerala iz “Pb-Zn” Rudnika Grot, (Projekti TR 34013 i TR 34006),*

Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, ITNMS, br. 13/28-6 od 22.03.2018., Beograd

Korisnik/naručilac: Rudnik olova i cinka „Grot“ A.D., 17543 Kriva Feja, Vranje,

godina izrade: 2017/18

godina prihvatanja TR od strane MNO: 2018.

24. Milan Trumić, Maja Trumić, Dragan S. Radulović, Anja Terzić, Ljubiša Andrić, **Milan Petrov**, *Uticao smanjenja sadržaja metala u ulaznoj rudi na vrednost Bondovog radnog indexa Pb-Zn rude iz rudnika “Grot“-Kriva Feja -Vranje, (TR 34006),* Arhiva Tehničkog fakulteta u Boru, Tehničko rešenje br. VI/4, br.17-12, od 06.07.2018.

Verifikacija tehničkog rešenja: Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

Korisnik/naručilac: Rudnik olova i cinka „Grot“ A.D., 17543 Kriva Feja, Vranje
godina izrade: 2018
godina prihvatanja TR od strane MNO: 2018.

5. DRAGAN S. RADULOVIĆ:

M 81 – Novi proizvod-tehnologija na medjunarodnom nivou – 8

1. **Dragan S. Radulović**, Branislav Ivošević, Živko Sekulić, Mirjana Stojanović, Aleksandra Daković, Milan Kragović: **Novi tehnološki postupak dobijanja punioca za primenu u različitim industrijskim granama na bazi krečnjaka iz ležišta “Maljat”-Danilovgrad, TR 31003 i TR34013, ITNMS, 21. 06. 2012.**
2. **Dragan S. Radulović**, Sonja Milićević, Srđan Matijašević, Slavica Mihajlović, Velimir Antanasković, Vladimir Jovanović: **Novi tehnološki postupak dobijanja punioca na bazi krečnjaka iz ležišta “Platac”- Kotor za primenu u sledećim industrijama: boja i lakova, gume i PVC-a, livarskoj, šećera, metalurgiji, stakla, mineralnih đubriva i stočne hrane, TR 31003 i TR34013, ITNMS, 25. 07. 2013.**

M 82 – Novi proizvod - tehnologija na nacionalnom nivou-6

3. Mirjana Stojanović, **Dragan Radulović**, Siniša Milošević, Mirko Grubišić: “Novo tehničko-tehnološko rešenje dobijanja fosfatnih adsorbenata radionuklida na bazi prirodnih fosfata”, Tehničke mogućnosti: adsorpciju od preko 90% jona urana iz zemljišnog rastvora pri pH=5,5 dostiže za oko 30 dana a potpunu za 60 dana kada adsorpcija iznosi 98,09%, Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina – Beograd, Novi proizvod je rezultat realizacije inovacionog projekta u okviru tehnološkog razvoja: PTR 002077B. Proizvod u primeni 2006.
4. **Dragan Radulović**, Mirjana Stojanović, Siniša Milošević, Branislav Ivošević, Mirko Grubišić: “Novo tehnološko rešenje dobijanja fosfatnih adsorbenata radionuklida na bazi visoko kvalitetnog koncentrata fosfata”, Tehničke mogućnosti: Efekat apsorpcije za samo 7 dana (iz kontaminiranih zemljišta) dostignuta je adsorpcija od preko 90% urana. Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina – Beograd, Novi proizvod je rezultat realizacije inovacionog projekta u okviru tehnološkog razvoja: PTR 002077B. Proizvod u primeni 2006.
5. **Dragan Radulović**, Mirjana Stojanović, Siniša Milošević, Mirko Grubišić: ” Novo tehničko-tehnološko rešenje dobijanja fosfatnih adsorbenata radionuklida na bazi mehanohemijski aktiviranog fosfata”. Tehničke mogućnosti: Mehanohemijski aktiviranom adsorbentu u odnosu na prirodni apatit adsorpcione sposobnosti povećane za oko 70%, odnosno ovaj proizvod dostiže adsorpciju od 90% jona urana iz zemljišnog rastvora za oko 10 dana. . Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina – Beograd, Novi proizvod je rezultat realizacije inovacionog projekta u okviru tehnološkog razvoja: PTR 002077B. Proizvod u primeni 2006.
6. **Dragan S. Radulović**, Živko Sekulić, Jovica Stojanović (2010): **Dobijanje novog proizvoda -koncentrata liskuna (muskovita) iz fosforitske rude „Lisina“, ITNMS, M 82 – Novi proizvod (materijal)** Tehnološko rešenje je rezultat projekta Projekta MNTR19033.

7. Marija Mihajlović, Mirjana Stojanović, **Dragan Radulović**, Časlav Lačnjevac, Mirko Grubišić, Zorica Lopičić, Jelena Petrović, Marija Stanojević, **Dobijanje mineralnog složenog čvrstog đubriva na bazi prirodnog fosfata i parcijalno modifikovanog zeolita – FosZel, TR 31003, ITNMS, 01. 12. 2014.**
8. Dragan S. Radulović, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, Jovica Stojanović, Branislav Marković, **Novo tehničko rešenje – Tehnološka ispitivanja i naučno-stručna validacija rude iz ležišta „Kula“ u cilju proširenja eksploatacionog prostora i uvećanja rudnih rezervi Rudnika „Grot“-Kriva Feja (Vranje), Odluka NV ITNMS o validaciji i verifikaciji 28.11.20119, Upućeno MO na verifikaciju**

M 83 –Novo eksperimentalno postrojenje

9. B. Matejević, **D. Radulović**, V. Milošević, J. Stojanović, S. Radosavljević: Novatehnološka linija flotiranja kolektivnog koncentrata Zn-Pb iz rude Kiževak. Tehn. karakteristike: Dispozicija opreme PMS i pravci kretanja ulazne rude, koncentrata i jalovine. Tehn. mogućnosti: Može da se primeni kolektivna flotacija kod svih Pb-Zn ruda. Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina - Beograd; Korisnici: DP rudnik i flotacija "Suva Ruda" Raška. Nova tehnološka linija je rezultat Projekta MNT.2.01.0050.B; (2002). Početak primene: 01.12.2002.
10. Ljubiša Andrić, Živko Sekulić, Milan Petrov, Vladan Milošević, **Dragan Radulović**, Slavica Mihajlović: „Primena novog tehničkog rešenja u tehnološkom postupku hidrofobizacije živo mlevenog (negašenog) kreča iz pogona "USSB – Kučevo" Tehn. mogućnosti: Može da se primeni u svim pogonima gde se dobija negašeni kreč. Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina – Beograd; Korisnici: "USSB – Kučevo", Novo tehničko rešenje je rezultat realizacije projekta u okviru tehnološkog razvoja: MNTR 6722B. Rešenje u primeni: jul 2005
11. Jovanović Vladimir, Canić Neda, Bartulović Zoran, **Dragan Radulović**: “Tehnološka linija koncentracije osnovnog sulfidnog koncentrata” Tehn. mogućnosti: Može da se primeni pri koncentraciji svih sulfidnih ruda Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina - Beograd; Korisnici: a.d., Rudnik i flotacija "Rudnik" Rudnik. Nova tehnološka linija je rezultat Projekta MNTR 006723 B. Početak primene: 01.12.2002 (2005)
12. **Dragan S. Radulović**, Vladimir Jovanović, Branislav Ivošević, Vladan Milošević, Ljubiša Andrić, Zoran Bartulović, Dejan Todorović, Ivana Ilić (2010): **fikasna primena novoosvojenih tehnoloških znanja u polu-industrijskim uslovima rada u cilju dobijanja koncentrata apatita iz fosfatne rude „Lisina“, ITNMS, M 83 –Novo eksperimentalno postrojenje.** Tehnološko rešenje je rezultat projekta Projekta MNTR19033.
13. **Dragan S. Radulović**, D. Vučinić, J. Stojanović, B. Ivošević, Ž. Sekulić, M. Stojanović, S. Zildžović: **Valorizacija fosfatne jalovine iz bliskoistočnih postrojenja za preradu fosfata (Sirija), TR 31003 i TR34013, ITNMS, 15. 05. 2012.**

M 84 - Bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologija

14. Ljubiša Andrić, Živko Sekulić, Milan Petrov, Vladan Milošević, **Dragan Radulović**, Slavica Mihajlović: „Primena novog tehničkog rešenja u tehnološkom postupku hidrofobizacije živo mlevenog (negašenog) kreča iz pogona "USSB – Kučevo" Tehn.

- moгуćnosti: Može da se primeni u svim pogonima gde se dobija negašeni kreč. Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina – Beograd; Korisnici: "USSB – Kučevo", Novo tehničko rešenje je rezultat realizacije projekta u okviru tehnološkog razvoja: MNTR 6722B. Rešenje u primeni: jul 2005
15. Jovanović Vladimir, Canić Neda, Bartulović Zoran, **Dragan Radulović: "Tehnološka linija koncentracije osnovnog sulfidnog koncentrata"** Tehn. mogućnosti: Može da se primeni pri koncentraciji svih sulfidnih ruda Realizatori: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina - Beograd; Korisnici: a.d., Rudnik i flotacija "Rudnik" Rudnik. Nova tehnološka linija je rezultat Projekta MNTR 006723 B. Početak primene: 01.12.2002 (2005)
 16. **Dragan S. Radulović**, Anja Terzić, Velimir Antanasković, (2008), „**Priprema uzoraka agregata paljenog boksita, elektrotopljenog korunda i šamotnog brašna kao polaznih komponenti za dobijanje konstrukcionih materijala za visokotemperaturnu primenu**“, ITNMS, Tehnološko rešenje je rezultat projekta Projekta MNTR19012
 17. Mirjana Stojanović, **Dragan Radulović**, Mirko Grubišić, Deana Ileš (2009) **URANOFIX - reaktivni materijal na bazi domaćih fosfata namenjen remedijaciji kontaminiranih zemljišta uranijumom, ITNMS, T 1-5, 26.03.2009**
 18. **Dragan S. Radulović**, Dušica Vučinić (2009): **Unapredjenje tehnologije efikasnim deprimiranje minerala gvoždja u postupku flotiranja apatita iz fosfatne rude „Lisina“, ITNMS, M 84 –Bitno poboljšana tehnološki postupak.** Tehnološko rešenje je rezultat projekta Projekta MNTR19033
 19. **Dragan S. Radulović**, Dušica Vučinić, Branislav Ivošević (2009): **Unapredjenje tehnologije dobijanja koncentrata apatita, izmenom procenta čvrste faze u postupku flotiranja fosfatne rude „Lisina“, ITNMS, M 84 –Bitno poboljšana tehnološki postupak.** Tehnološko rešenje je rezultat projekta Projekta MNTR19033
 20. **Dragan S. Radulović**, Dejan Todorović, Branislav Ivošević, Vladan Kašić (2009):**“Unapredjenje tehnologije prerade fosfatne rude „Lisina“ izmenom šeme flotiranja, ITNMS, M 84 –Bitno poboljšana tehnološki postupak.** Tehnološko rešenje je rezultat projekta Projekta MNTR19033
 21. **Dragan S. Radulović**, Dušica Vučinić, Mirjana Stojanović, Branislav Ivošević, Dejan Todorović, Vladimir Jovanović, Zoran Bartulović: **Unapredjenje tehnološkog postupka flotiranja apatita iz fosforitne rude „Lisina“, povećanjem sadržaja čvrste faze sa 25 na 35%, u laboratorijskim i poluindustrijskim uslovima, TR 31003 i TR34013, ITNMS, 09. 05. 2013.**
 22. Živko Sekulić, Vladimir Jovanović, Slavica Mihajlović, **Dragan S. Radulović**, Vladan Kašić, Branislav Ivošević, **Poboljšanje tehnološkog postupka valorizacije litotamnijaskog krečnjaka iz ležišta „Dobrilović“ u postrojenju Zavoda za poljoprivredu Loznica, TR 34013, ITNMS, 01. 12. 2014.**
 23. Marija Mihajlović, Mirjana Stojanović, **Dragan Radulović**, Jelena Milojković, Zorica Lopičić, Jelena Petrović, Marija Koprivica (2015), **Dobijanje mehanički aktiviranog mineralnog složenog čvrstog đubriva na bazi prirodnog fosfata i parcijalno modifikovanog zeolita - FosZel^{plus}, ITNMS, TR 31003**

Bitno poboljšano tehničko rešenje na međunarodnom nivou M83 –3

24. **(M- 83) Dragan Radulović**, Ljubiša Andrić, Anja Terzić, Jovica Stojanović, Marija Marković, Milan Petrov, *Definisanje uslova razdvajanja (separacije), posle mlevenja, u mineralnom sistemu pirofilita-kvarca u zasebne proizvode, ležišta „Parsović“ – Konjic (BiH)(Projekti TR 34013 i TR 34006),*

Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, ITNMS, br. 13/31-6 od 15.08.2018. Beograd

Korisnik/naručilac: A.D. HARBI d.o.o. Tvornička 3, 71210 Sarajevo/Ilidža Bosana i Hercegovina, ID broj: 4200634320001, PDV broj: 200634320001, Reg. broj: 065-0-reg-016-001415./ Tehničko rešenje se primenjuje od 10.04. 2018 god. u ležištu pirofilita „Parsović“-Konjic, u vlasništvu firme A.D. „Harbi“-Sarajevo (BiH)

godina izrade: 2017/18

godina prihvatanja TR od strane MNO: 2018.

Bitno poboljšano tehničko rešenje na nacionalnom nivou M84 - 3

25. **Dragan S. Radulović**, Ljubiša Andrić, Anja Terzić, Milan Petrov, Jovica Stojanović Milan Trumić, Maja Trumić, *Novo tehničko rešenje – Dobijanje koncentrata K/Pb i K/Zn tržišnog kvaliteta postupkom gravitacijske koncentracije bogate rude sa povećanim sadržajem metalčnih minerala iz “Pb-Zn” Rudnika Grot, (Projekti TR 34013 i TR 34006),*

Verifikacija tehničkog rešenja: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, ITNMS, br. 13/28-6 od 22.03.2018., Beograd

Korisnik/naručilac: Rudnik olova i cinka „Grot“ A.D., 17543 Kriva Feja, Vranje,

godina izrade: 2017/18

godina prihvatanja TR od strane MNO: 2018.

26. Milan Trumić, Maja Trumić, **Dragan S. Radulović**, Anja Terzić, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, *Uticaj smanjenja sadržaja metala u ulaznoj rudi na vrednost Bondovog radnog indexa Pb-Zn rude iz rudnika “Grot”-Kriva Feja -Vranje, (TR 34006),* Arhiva Tehničkog fakulteta u Boru, Tehničko rešenje br. VI/4, br.17-12, od 06.07.2018.

Verifikacija tehničkog rešenja: Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

Korisnik/naručilac: Rudnik olova i cinka „Grot“ A.D., 17543 Kriva Feja, Vranje

godina izrade: 2018

godina prihvatanja TR od strane MNO: 2018.

Prilog 7. Dokaz o publikaciji u časopisu kategorije M22

DOI:10.3390/ma12091552., (ISSN: 1996-1944; CODEN: MATEG9), Cavitation wear of Basalt Glass Ceramic, Materials, 12 (9) (2019) 1552.