

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKO REŠENJE

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

Sinteza i karakterizacija sinterovanog bazalta sa poboljšanom otpornošću na dejstvo kavitacije

Autori:

Dr Radica Prokić-Cvetković, redovni profesor

Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Marina Dojčinović, vanredni profesor

Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Marko Pavlović, master inženjer metalurgije

Kontrol Inspekt- Beograd

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, 10.03.2020.god.

1) AUTORI TEHNIČKOG REŠENJA:

Dr Radica Prokić-Cvetković, dipl.ing. metalurgije, redovni profesor

Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd

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

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

Dr Marko Pavlović, master inženjer 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:

Sinteza i karakterizacija sinterovanog bazalta sa poboljšanom otpornošću na dejstvo kavitacije

3) KLJUČNE REČI:

rovni bazalt, sinterovani bazalt, kavitacija, otpornost na dejstvo kavitacije, 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: materijali, obrada i prerada

Karakter rešenja: inovacija u oblasti procesa sinterovanja bazalta; optimizacija metoda karakterizacije materijala

Oblast i naučna disciplina: Materijali, obrada i prerada

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 M23: M. Pavlovic, M. Dojčinovic, R. Prokic-Cvetkovic, Lj. Andric: The Mechanisms of Cavitation Erosion of Raw and Sintered Basalt, Science of Sintering, 51 (2019) 409-419, IF (2018) = 0,885, ISSN: 1820-7413, doi:<https://doi.org/10.2298/SOS1904409P>

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

Matični naučni odbor za materijale

Uvid u dokumentaciju tehničkog rešenja na nivou Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu izvršio:

Dr Aleksandar Sedmak, redovni profesor, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

VERIFIKACIJA TEHNIČKOG REŠENJA:
UNIVERZITET U BEOGRADU, MAŠINSKI FAKULTET
KRALJICE MARIJE 16, 11000 BEOGRAD

GODINA IZRADE:
2019/2020.

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

U okviru tehničkog rešenja su istraženi procesi dobijanja sinterovanog bazalta povišenih svojstava otpornosti na habanje i kavitaciju. Kao polazni materijal korišćene su olivin-piroksenske bazaltne stene iz ležišta Vrelo–Kopaonik (rovni bazalt). Definisani su optimalni parametri dobijanja bazaltne prahe procesima drobljenja i mlevenja bazaltnih stena. Predložena je optimizacija procesa presovanja i sinterovanja bazalta u cilju postizanja zahtevane strukture i poboljšanih svojstava otpornosti na dejstvo habanja i kavitacije. Određena je otpornost sinterovanog bazalta pod dejstvom kavitacije primenom ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom prema standardu ASTM G32. Razvijena je metodologija procene kavitacione otpornosti sinterovanog bazalta na osnovu izračunatih kavitacionih brzina i analize morfologije oštećenja površine bazirane na primeni skenirajuće elektronske mikroskopije i kompjuterske analize slike. Definisani su elementi za procenu rizika i mere za kontrolu rizika nastajanja i razvoja oštećenja sinterovanog bazalta pod dejstvom kavitacije.

Bazalt pripada grupi izuzetno tvrdih vulkanskih stena [1-8]. Velika pogodnost bazalta je svojstvo visoke otpornosti na dejstvo habanja i korozije [9,10]. Ispitivanja bazalta iz ležišta Vrelo–Kopaonik pokazala su da 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 [11-14]. Takođe, postupcima mlevenja, presovanja i sinterovanja može se dobiti staklo-keramika visokih svojstava otpornosti na habanje, koroziju i kavitaciju [15, 16].

Ovim tehnološkim rešenjem otvara se mogućnost prerade bazaltnih stena iz ležišta Vrelo–Kopaonik u proizvode za široku primenu u uslovima u kojima se javljaju visoke temperature i pritisci, habanje, korozija, dejstvo reaktivnih materijala kao što su tečni metali, šljaka, alkalije, jedinjenja hlorida, korozivni gasovi. Istraženi režim sinterovanja bazalta doveo je do pojave različitih udela staklaste i kristalne faze u strukturi. Cilj je bio da se definiše optimalni postupak sinterovanja bazalta (najmanje količine dodataka, najmanji utrošak energije, najkraća vremena) koji će proizvesti materijal željene strukture i svojstva. Očekivani konačni rezultat je sinterovani bazalt poboljšanih svojstava koji može da zadovolji zahteve industrijske primene i ugradnje u konstruktivne elemente metalurških agregata. Pri tome svojstva materijala se određuju pomoću standardizovanih laboratorijskih metoda ispitivanja ili pomoću savremenih instrumentalnih metoda, vodeći računa da rezultati dobijeni određenom metodom budu međusobno uporedni. Pokazano je da razvijena metoda karakterizacije omogućava brzo određivanje svojstava otpornosti vatrostalnih materijala na bazi sinterovanog bazalta. Definisane metode karakterizacije mogu da se koriste u praksi za ocenu mogućnosti primene i drugih vatrostalnih materijala koji su u radu izloženi dejstvu kavitacionih opterećenja ili habanju.

9) STANJE REŠENOSTI PROBLEMA U SVETU I NA NACIONALNOM NIVOU

U svetu je veoma aktuelna problematika razvoja tehnologija prerade bazaltnih stena u proizvode različitih svojstava za široku primenu u svim industrijskim granama gde je problem hemijske otpornosti i otpornosti na habanje aktuelan: elektrotehnika, hemijsko inženjerstvo,

metalurgija i rudarstvo. Iako Srbija raspolaže znatnim rezervama kvalitetnih bazaltnih stena, još uvek nisu na zadovoljavajućem nivou zastupljene tehnologije njihove prerade u različite proizvode za primenu u industriji. Takođe, nedostaju i odgovarajući proizvodni kapaciteta za preradu bazaltne sirovine. Tehnologije dobijanja bazaltnih proizvoda livenjem i sinterovanjem su ekološki čiste, a proizvodi od bazalta nisu kancerogeni.

Bazalt je tvrda, kompaktna bazična vulkanska stena. Najčešće sadrži plagioklase, piroksene i olivine, a često ima staklast izgled [1-4]. To je jeftina i široko rasprostranjena sirovina za dobijanje stakla i staklo-keramike procesima sinter kristalizacije, topljenja, livenja i termičkog tretmana. Staklo-keramika na bazi bazalta ima veoma finu i homogenu strukturu, odlična fizička i mehanička svojstva, hemijsku postojanost, visoku otpornost na habanje i koroziju i može da zameni metalne materijale kod izrade konstrukcionih delova opreme u metalurgiji i rudarstvu [5-7, 11-15]. Prema literaturnim podacima, u svetu, bazalt se koristi kao sirovina za proizvodnju bazaltne vune, tankog i super tankog bazalnog vlakna, livenih proizvoda, bazaltne plastike, antikoroziivnih materijala, građevinskih materijala, termoizolacionih materijala [16-20]. Za opštu primenu bazalt se koristi za izradu porcelana, majolike, fajansa, sanitarne keramike, umetničke keramike, za izradu dekorativnog nameštaja, posuđa, glazura za dekorisanje različitih keramičkih i drugih proizvoda [21-24]. Sinteza i primena kompozitnih materijala sa polimernom osnovom i ojačivačen na bazi bazalta (bazaltna vlakna, bazaltni prah) široko su prisutni u mašinskoj industriji, auto industriji, brodogradnji, građevinarstvu za izradu konstrukcionih delova i opreme gde je potrebna visoka tvrdoća i otpornost na habanje [25-28]. Zahvaljujući svojim superiornim karakteristikama staklo-keramika na bazi bazalta može da se koristi u sredinama u kojima je prisutno eroziono habanje, korozija, visoke temperature i pritisci, dejstvo agresivnih hemikalija i suspenzija, protok fluida [16, 19, 20].

Za procenu mogućnosti primene bazalta iz ležišta Vrelo Kopaonik za izradu delova industrijske opreme i primenu u sličnim eksploatacionim uslovima, urađena su laboratorijska ispitivanja kavitacione otpornosti rovnog i sinterovanog bazalta. Ispitivanja su urađena u skladu sa ranijim radovima [29-32] i podacima iz literature [33, 34]. Za ispitivanje je primenjena ultrazvučna vibraciona metoda sa stacionarnim uzorkom [35]. Svrha laboratorijske metode ispitivanja kavitacionih oštećenja jeste da se predvidi ponašanje materijala tokom dejstva kavitacije za što kraće vreme trajanja ispitivanja (2 – 10 h), a prednosti metode su mala veličina uređaja, mala veličina uzoraka za ispitivanje, mala uložena energija. Pri kavitaciji se odvija proces nastajanja, rasta i implozije (urušavanja) parnih ili paro-gasnih mehura u tečnosti koja struji. Pri urušavanju mehura lokalno nastaju visoke temperature i pritisci (približno 5000°C i 1000 bar) u vrlo kratkom vremenskom intervalu (manje od 1μs). Implozije mehura stvaraju udarne talase i mikromlazeve koji izazivaju gubitak mase i nastajanje oštećenja površine materijala sa kojom je tečnost u kontaktu [33, 34, 36, 37]. Za procenu kavitacione otpornosti uzoraka bazalta praćena je promena mase uzoraka u funkciji vremena delovanja kavitacije. Takođe, praćen je nivo degradacije površine uzoraka primenom programa za analizu slike, Image Pro Plus [38]. Na osnovu dobijenih rezultata izvršeno je poređenje svojstava ispitivanih uzoraka i procena mogućnosti njihove primene za date uslove eksploatacije.

10) OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

10.1. Materijali

Ekperimentalni deo koji predstavlja osnovu verifikacije rezultata ovog tehničkog rešenja zasnovan je na ispitivanju otpornosti na dejstvo kavitacije uzoraka rovnog bazalta i uzoraka sinterovanog bazalta.

Kao polazni materijal za izradu uzoraka za ipitivanje korišćene su bazaltne stene iz ležišta Vrelo Kopaonik. Uzorci rovnog bazalta (oznaka uzoraka: RB) dimenzija (15×15×15) mm sečeni su iz odabranih stena bazalta. Osnovne karakteristike bazalta koje su uticale na njegov izbor za istraživanje kavitacione otpornosti i procenu primene u inženjerskoj praksi bile su: temperatura topljenja 1300-1400 °C; visoka tvrdoća 6.5-7 po Mosh skali; gustina 2460-2960 kg/m³; količina stakla u osnovi 10-15%; visoka zatezna čvrstoća; čvrstoća na pritisak 80 MPa; poroznost 3,78%; visoka otpornost na kiseline, alkalije, toplotu; visoka toplotna provodljivost; nije toksičan i nema nikakvih opasnosti po zdravlje; potpuno je inertan bez opasnosti po životnu sredinu [3-5, 8-11]. Hemijski sastav polaznog uzoraka bazalta prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav polaznog uzoraka 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

Drobljenjem i mlevenjem bazaltnih stena dobijen je bazaltni agregat veličine zrna ispod 1mm. Bazaltni agregat je samleven u vibracionom mlinu sa ahatnim kuglama na veličinu zrna 15µm. Dobijeni bazaltni prah pomešan je sa aditivima za presovanje (0,6% bentonit; 0,5% celuloza). Uzorci za ispitivanje su presovani u ploče dimenzija (100×50×15) mm korišćenjem prese Leitz pod pritiskom 10⁶ Pa. Zatim su, ispresovani uzorci sinterovani na temperaturi 1150 °C. Proces sinterovanja se odvijao po sledećem režimu: podizanje temperature do 1000 °C sa brzinom zagrevanja 5 °C/min u vremenu od 200 min; zatim, podizanje temperature do 1150 °C sa brzinom zagrevanja od 2 °C/min u vremenu od 100 min; sinterovanje na temperaturi 1150 °C u vremenu od 60 min. Oznaka uzoraka sinterovanog bazalta: SB.

10.2. Opis metoda karakterizacije

10.2.1 Rendgenska difrakciona analiza

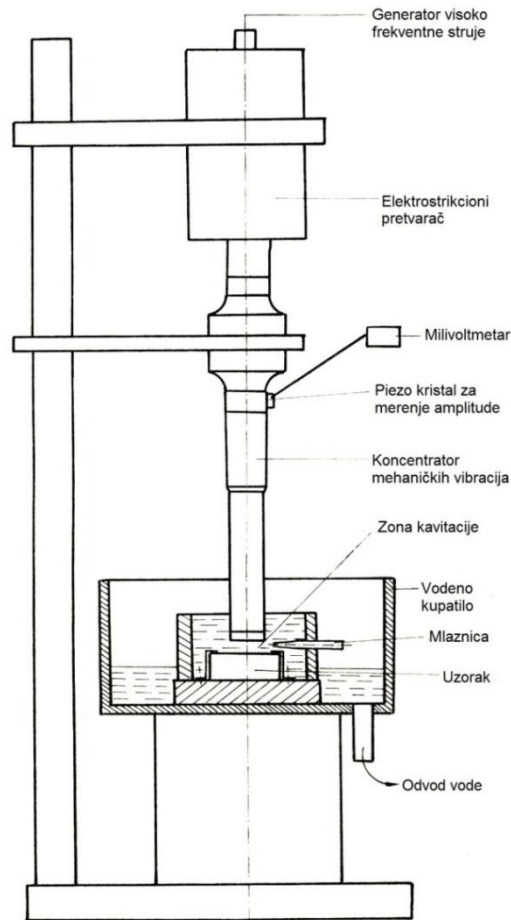
Rendgenska difrakciona analiza korišćena je za određivanje i praćenje faznog sastava rovnog i sinterovanog bazalta. Uzorci su analizirani na rendgenskom difraktometru marke "PHILIPS", model PW-1710.

10.2.2 Skenirajuća elektronska mikroskopija

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.

10.2.3 Ispitivanje otpornosti na dejstvo kavitacije

Za ispitivanje otpornosti na dejstvo kavitacije, korišćena je ultrazvučna vibraciona metoda (sa stacionarnim uzorkom) prema standardu ASTM G32 [35]. Ova laboratorijska metoda omogućila je da se, u relativno kratkom vremenu, proceni mogućnost primene ispitivanih uzoraka u uslovima kavitacionih operećenja. Uređaj se sastoji iz generatora visokofrekventne struje, električnog pretvarača, koncentratora mehaničkih vibracija i vodenog kupatila sa držačem ispitivanog uzorka (slika 1).



Slika 1. Šema uređaja za ispitivanje otpornosti na dejstvo kavitacije ultrazvučnom vibracionom metodom sa stacionarnim uzorkom [36]

Izbor karakterističnih parametara za ispitivanje izvršen je u skladu sa standardom [35], predhodnim iskustvima ispitivanja [29-32] i literaturnim podacima ispitivanja metalnih i nemetalnih materijala [33, 34]:

- Frekvencija mehaničkih vibracija 20 ± 0.2 kHz;
- Amplituda mehaničkih vibracija na vrhu koncentratora 50 ± 2 μm ;
- Zazor između probnog uzorka i koncentratora 0.5 mm;
- Protok vode 5–10 ml/s;
- Temperatura vode u kupatilu 25 ± 1 °C.

Navedeni parametri su kontrolisani i održavani na zadatom nivou tokom procesa ispitivanja. Interval izlaganja uzorka i ukupno vreme ispitivanja bili su prilagođeni ponašanju uzorka u toku eksperimenata. Tokom ispitivanja koncentrator mehaničkih vibracija je svojim donjim krajem uronjen u vodeno kupatilo temperature 25 ± 1 °C. Uzorak koji se ispituje postavljen je ispod čeonu površine koncentratora vibracija sa zazorom 0.5mm. Frekvencija mehaničkih vibracija je 20kHz, a amplituda je $50\mu\text{m}$. Ispod čeonu 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.

Na dijagramu gubitka mase se prikazuju rezultati oštećenja, tako što se na ordinatu nanose vrednosti gubitka mase, dok se na apscisu unose vrednosti za vreme izlaganja materijala dejstvu kavitacije. Određene su kavitacione brzine, koje prema standardu ASTM G32 se računaju kao ukupan gubitak mase podeljen sa vremenom ispitivanja. Na osnovu vrednosti gubitka mase, odnosno vrednosti kavitacionih brzina, kao i analize morfologije oštećenja površine uzoraka na bazi bazalta, urađene primenom skenirajućeg elektronskog mikroskopa i primenom kompjuterske analize slike, određena su svojstva otpornosti ispitivanih uzoraka RB i SB. Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja procenjena je mogućnost njihove primene u eksploatacionim uslovima u kojima se očekuje dejstvo kavitacionih opterećenja.

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.

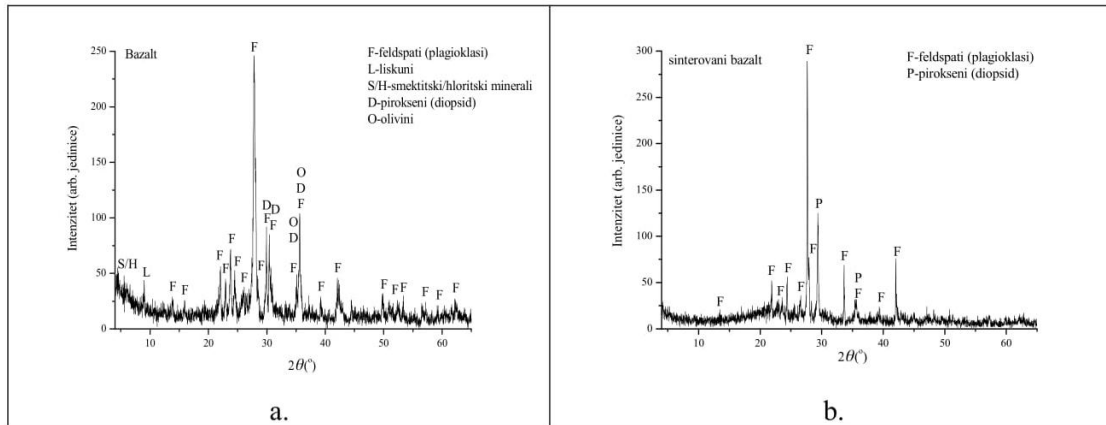
10.2.4 Analiza slike

Nastajanje i razvoj oštećenja površine uzoraka pod dejstvom kavitacije praćeno je korišćenjem kompjuterskog programa za analizu slike Image Pro Plus [38]. Kompjuterskom analizom slike određeni su sledeći parametri oštećenja površine uzoraka na bazi bazalta: 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} , mm². 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 sinterovanog bazalta pre ispitivanja pod dejstvom kavitacije

10.3.1. Fazni sastav uzoraka bazalta

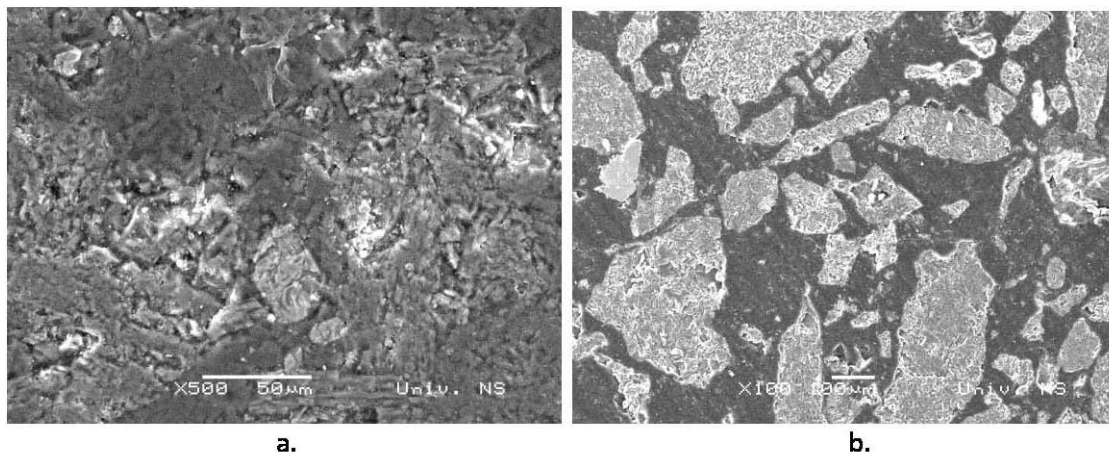
Mineralni sastav uzorka rovnog bazalta (RB) i sinterovanog bazalta (SB) je sledeći: plagioklasi, pirokseni, olivini, slika 2. Najzastupljeniji minerali u uzorku RB su bazični plagioklasi, dok su pirokseni (augit) i olivini manje prisutni, slika 2a. U sinterovanom bazaltu prisutni su minerali plagioklasi (feldspati) i pirokseni (diopsid), slika 2b.



Slika 2. XRD difraktogrami uzoraka na bazi bazalta: a. rovni bazalt; b. sinterovani bazalt.

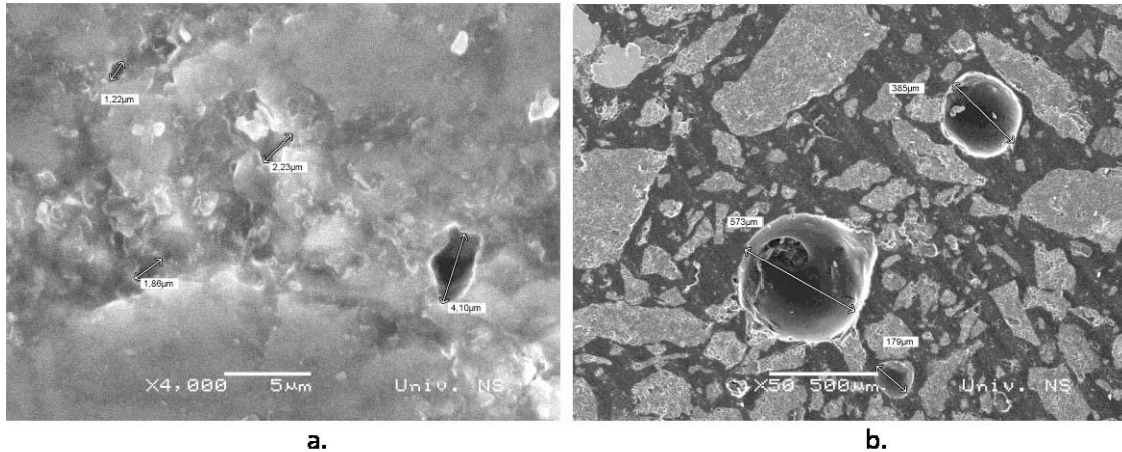
10.3.2. Mikrostrukturna analiza uzoraka bazalta

Na slici 3 prikazane su SEM mikrofotografije uzoraka RB i uzoraka SB pre procesa kavitacije. Osnova ispitivanog uzorka rovnog bazalta, slika 3a izgrađena je od mikrokristalastog plagioklasa. Od fenokristala utvrđeni su olivini, rombični pirokseni i ređe bazični plagioklasi. Struktura stene bazalta je predstavljena olivin-piroksenskim bazaltom. U strukturi sinterovanog bazalta prisutni su ravnomerno raspoređeni kristali piroksena i plagioklasa u osnovnoj masi uzorka, slika 3b.



Slika 3. SEM mikrofotografije uzoraka na bazi bazalta: a. rovni bazalt; b. sinterovani bazalt.

U strukturi uzoraka RB i SB sadržani su mehuri različitih veličina, koji su ispunjeni vazduhom ili staklom, slika 4. 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 uzoraka SB sadržani mehuri većih dimenzija uklopljeni u kriptokristalastu -staklastu osnovu, slika 4b.



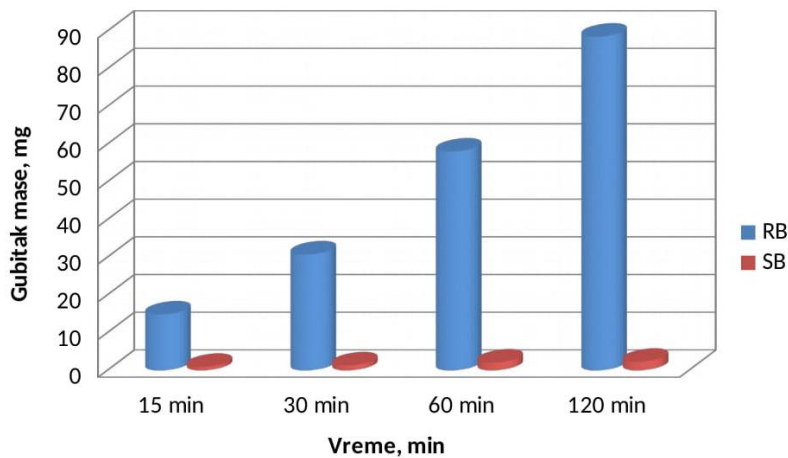
Slika 4. Prisutni mehuri u strukturi bazalta: a. rovni bazalt; b. sinterovani bazalt.

Tokom testa kavitacije praćena je promena prisutnih mehura sadržanih u osnovi bazalta, kao i prisutnih jamica na površini uzorka RB i SB.

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

10.4.1. Promena mase uzorka tokom kavitacionih ispitivanja

Merenje gubitka mase uzoraka pod dejstvoma kavitacije u toku vremena ispitivanja prikazani su na slici 5.



Slika 5. Gubitak mase uzoraka na bazi bazalta tokom ispitivanja na dejstvo kavitacije: RB- rovni basalt; SB-sinterovani basalt.

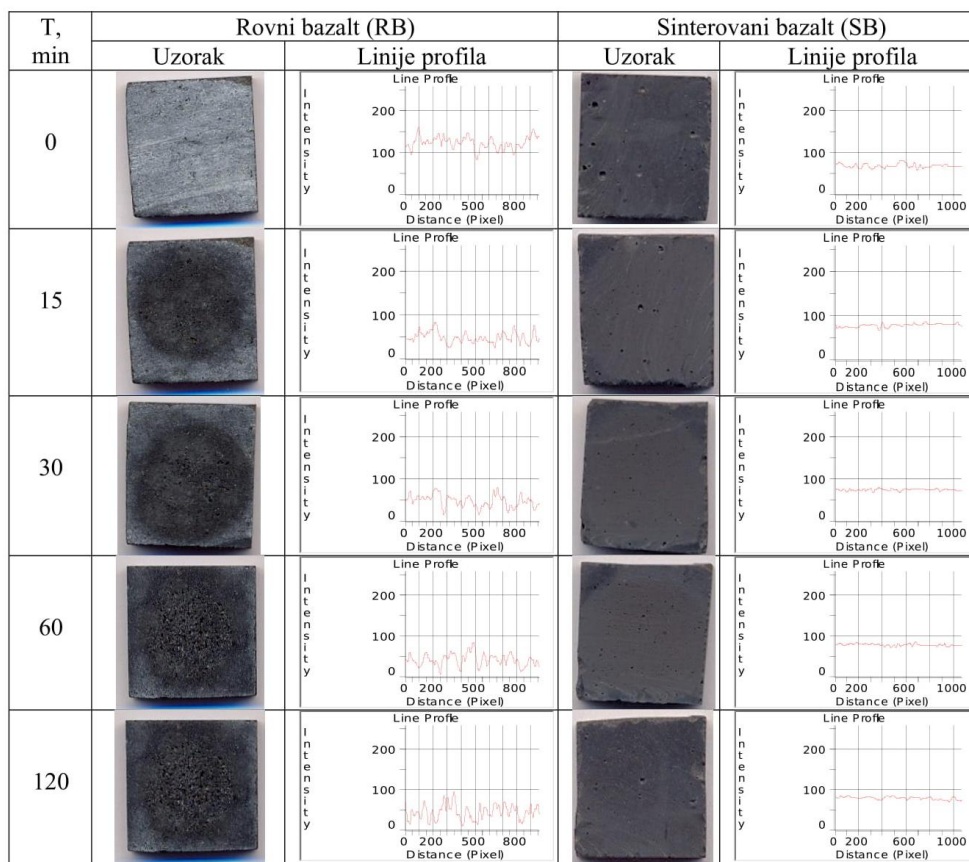
Gubitak mase nastao kavitacionim oštećenjem nanosi se na ordinatu a vremeniski intervali prikazani su na apscisi. Pokazano je da uzorci SB imaju znatno veći stepen kavitacione otpornosti sa kavitacionom brzinom 0.02 mg/min u odnosu na uzorke RB sa kavitacionom

brzinom 0.74 mg/min. Analizirajući progresiju erozije uzoraka SB može se zaključiti da je gubitak mase mali, u prvih 15 min gubitak mase je 0,91mg i blago se povećava do gubitka mase od 2,26 mg za 120 min 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 testiranja 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.

Veći nivo erozije površine uzoraka RB može da se tumači grubljom strukturom rovnog bazalta u odnosu na sitnozrnu i homogenu strukturu uzoraka SB.

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

Na slici 6 prikazane su fotografije uzoraka RB i SB tokom testa kavitacije sa odgovarajućim linijama profila dobijenih primenom analize slike korišćenjem programa Image Pro Plus.

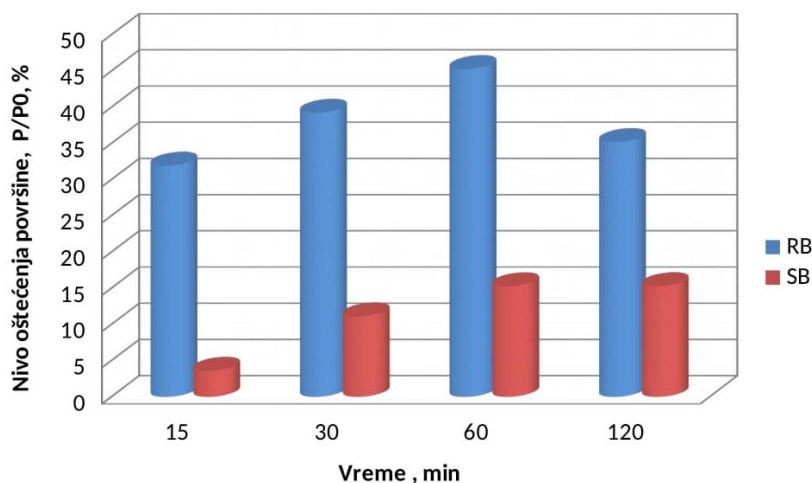


Slika 6. Fotografije uzoraka rovnog i sinterovanog bazalta pre i tokom ispitivanja na dejstvo kavitacije sa odgovarajućim linijama profila dobijenim primenom analize slike.

Konstatovano je da se kod uzorka SB javljaju manja oštećenje površine u odnosu na uzorka RB i gotovo ne dolazi do promene dimenzija jamica koje su postojale na površini uzorka pre testiranja. Linije profila uzoraka SB 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. Kod uzorka RB početne jamice na površini i prisutna hrapavnost se menjaju i povećavaju dimenzije tokom vremena izlaganja kavitaciji, što se može videti na većim promenama linija profila uzorka RB tokom testiranja.

Rezultati prikazani na slici 6 odgovaraju rezultatima oštećenja površine uzorka RB i SB određenih primenom analize slike na fotografijama površina uzorka tokom vremena delovanja kavitacije, obrađenim i analiziranim primenom softverskog programa Image Pro Plus, prikazano na slici 7.



Slika 7. Nivo oštećenja površine uzorka rovnog i livenog bazalta tokom ispitivanja otpornosti na dejstvo kavitacije: RB- rovni bazalt; SB- sinterovani bazalt.

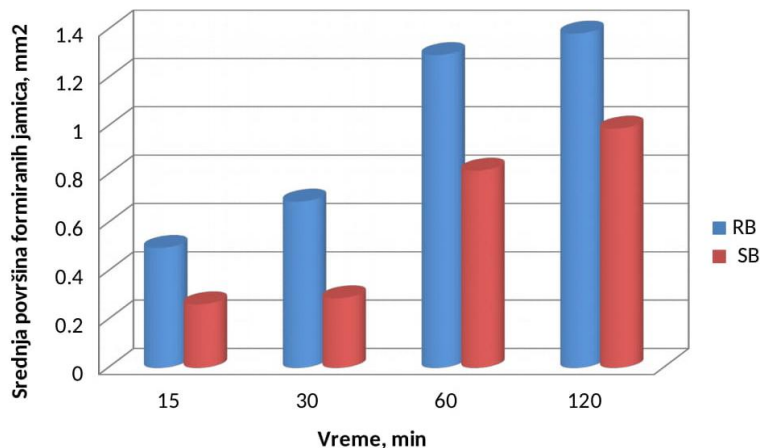
Na površini polaznog uzorka RB prisutno je više malih jamica (makrofotografija površine uzorka RB, slika 6, vreme $t=0$ min). Na površini uzorka sinterovanog bazalta nalazi se manji broj većih jamica (makrofotografija uzorka SB, slika 6, vreme $t=0$ min).

Na kraju vremena ispitivanja od 120 min kod uzorka SB 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 5. Na kraju ispitivanja pod dejstvom kvaitacije oštećenje površine uzorka SB je 15%, dok je oštećenje uzorka RB veće od 35%, prikazano na slici 7. To ogovara rezultatima određivanja srednje površine formiranih jamica, P_{av} prikazano na slici 8.

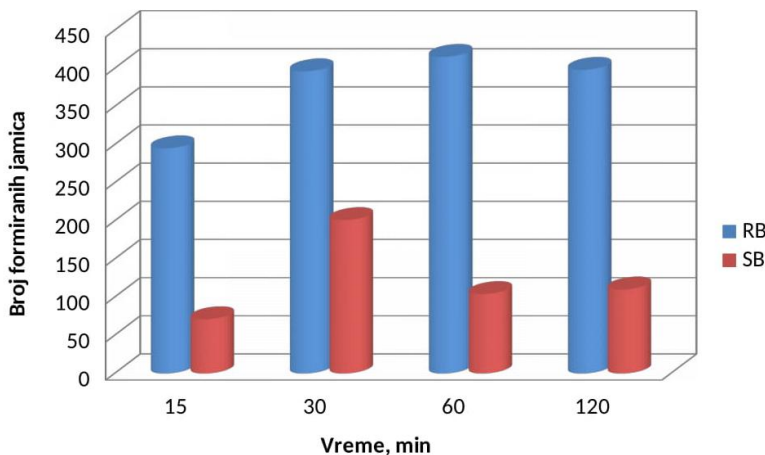
Na slici 9 prikazana je dinamika formiranja jamica na površini uzorka RB i SB tokom izlaganja dejstvu kavitacije.

U uzorku RB prisutni su brojni sitni mehuri u strukturi (slika 4a), koji formiraju mnoštvo sitnih jamica na površini uzorka, što utiče na povećanje hrapavosti površine. Delovanjem procesa kavitacije broj formiranih novih jamica se postepeno povećava. Porast broja i veličine jamica, koje se na pojedinim mestima međusobno spajaju i formiraju veće i dublje jamice, utiče na povećanje oštećene 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 oštećenje površine 35%, slika 7.



Slika 8. Srednja površina formiranih jamica tokom procesa kavitacije: RB- rovni bazalt; SB- sinterovani bazalt.



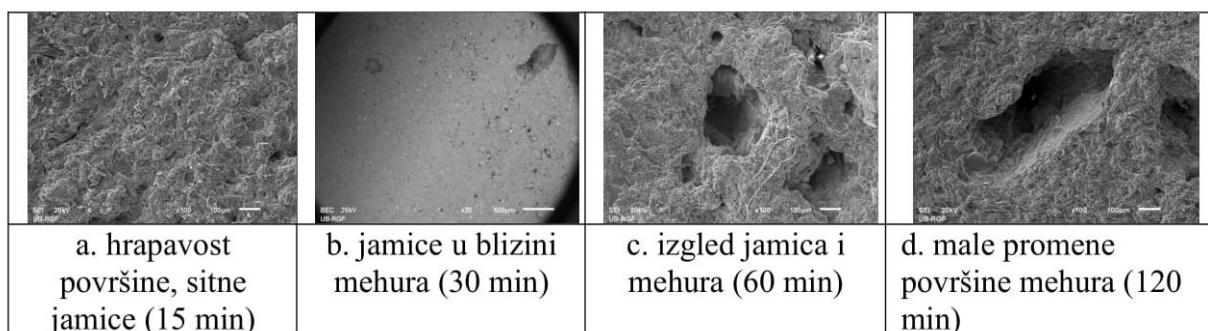
Slika 9. Broj formiranih jamica tokom procesa kavitacije: RB- rovni bazalt; SB- sinterovani bazalt.

Kod uzoraka SB prisutni su pojedinačni veći mehurovi u strukturi (slika 4b), prisutne su pojedinačne veće i manje jamice na površini uzorka pre početka delovanja kavitacije (slika 6, vreme $t=0$ min). Na površini uzoraka SB ne uočavaju se nikakve kavitacione 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 9. Pri tome postepeno raste srednja površina formiranih jamica, slika 8. Analiza slike uzoraka SB pokazala je da se početne jamice na površini uzorka nastale najverovatnije

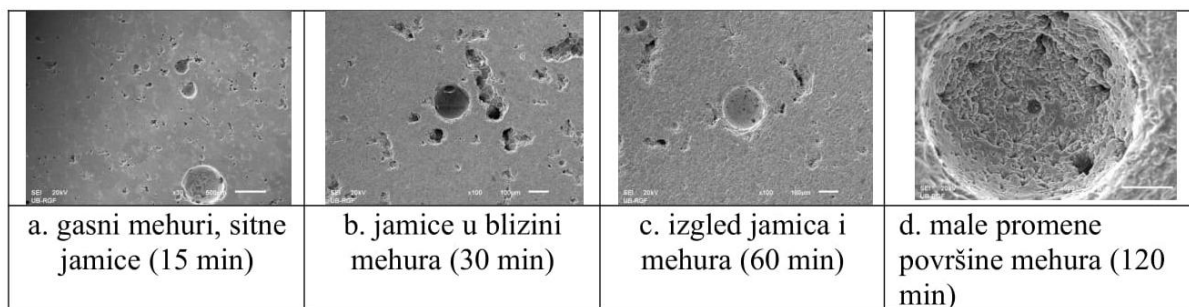
usled prisustva mehura u strukturi, ne menjaju tokom ekspozicije, što se vidi i na fotografijama uzoraka SB tokom testiranja. Stvaranje manjeg broja jamica manje oštećuje površinu uzoraka SB, tako da je nakon 120 min delovanja kavitacije oštećenje površine je ispid 15%, slika 7.

10.4.3. Promena morfologije oštećenja površine uzoraka

Promena morfologije površine uzoraka RB i SB sa vremenom ispitivanja praćena je primenom skenirajuće elektronske mikroskopije slike 10 i 11.



Slika 10. SEM mikrofotografije erodiranih površina uzorka RB sa različitim uvećanjima i vremenima dejstva kavitacije.



Slika 11. SEM mikrofotografije erodiranih površina uzorka SB sa različitim uvećanjima i vremenima dejstva kavitacije.

Na površini uzorka RB u prvih 15min delovanja kavitacije formiraju se plitke jamice i povećava se hrapavost površine, slika 10.a. Za 30 min delovanja kavitacije formira se veći broj jamica u blizini već postojećeg mehura, slika 10.b. Tokom 60 min delovanja kavitacije malo se menja izgled površine postojećeg mehura, formirane jamice u blizini mehura se povećavaju, slika 10.c. Površine već postojećih mehura u osnovi bazalta se malo menjaju tokom delovanja kavitacije 120 min, slika 10.d.

Na površini uzorka SB u prvih 15min dejstva kavitacije nije došlo do promene površine uzorka, slika 11.a. Dejstvom kavitacije 30 min formiraju se male jamice u blizini postojećih

mehurova, slika 11.b. Tokom delovanja kavitacije 60 min, slika 11.c ne dolazi do većih promena formiranih jamica i postojećeg mehura. Površine mehura se veoma malo menjaju tokom dejstva porocesa kavitacije, 120min, slika 11.d.

10.5. Zaključci i primena tehničkog rešenja

U tehnološkom rešenju su prikazani efekti primene efekti primene ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom za određivanje kavitacionih oštećenja rovnog i sinterovanog bazalta. Cilj je bio utvrđivanje mogućnosti primene ovih uzoraka za dobijanje konstrukcionih elemenata opreme u metalurgiji i rudarstvu, a koji su u radu izloženi sličnim eksploatacionim uslovima. Kao polazna sirovina korišćene su bazaltne stene iz ležišta Vrelo Kopaonik. Analiza gubitka mase i progresije erozije površine uzoraka tokom delovanja procesa kavitacije pokazala je različite efekte kavitacionih oštećenja uzoraka rovnog i sinterovanog bazalta:

-Gubitak mase uzorka rovnog bazalta u ranoj fazi razvoja kavitacije za 15min je 15mg i kako se vreme ekspozicije povećava, kumulativni gubitak mase uzorka postepeno se povećava, skoro linearno do 88,5mg sa 120 min ekspozicije, sa kavitacionom brzinom 0,74 mg/min i ukupnim oštećenjem površine uzoraka 35%.

-Analizirajući progresiju erozije uzoraka sinterovanog bazalta može se zaključiti da je gubitak mase mali, u prvih 15 min gubitak je 0,91 mg i blago se povećava do gubitka mase od 2,26 mg za 120 min ekspozicije, sa kavitacionom brzinom 0,02 mg/min i ukupnim oštećenjem površine uzoraka 15%.

- Veća brzina erozije kod uzorka rovnog bazalta u odnosu na uzorke sinterovanog bazalta može se tumačiti grubljom strukturom olivin-piroksenskog bazalta iz ležišta Vrelo-Kopaonik, u odnosu na kompaktnu strukturu dobijenih sinterovanih uzoraka. Primenjeni postupci dobijanja sinterovanog bazalta procesima drobljenja i mlevenja polaznog rovnog uzorka na određenu granulaciju zrna (15 μ m), postupcima presovanja i sinterovanja na temperaturi 1150°C/1h), po unapred određenom režimu, doprineli su dobijanju visoke kavitacione otpornosti uzoraka sinterovanog bazalta.

-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 sinterovanog bazalta javljaju se sitne jamice na površini tek nakon 30 min 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 mehura prisutnih u osnovi bazalta.

- Rezultati su omogućili ocenu kvaliteta istraživanih uzoraka i predstavljaju osnovu za razvoj tehnologija dobijanja bazaltnih proizvoda procesom sinterovanja. Srbija raspolaže znatnim rezervama kvalitetnih bazaltnih stena, ali nedostaju razvijene tehnologije i odgovarajući proizvodni kapaciteta za preradu bazaltne sirovine. Tehnologije dobijanja bazaltnih proizvoda sinterovanjem su ekološki čiste, a proizvodi od bazalta nisu kancerogeni. Pokazano je da uzorci sinterovanog bazalta na bazi 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 sinterovanog 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 2011-2019. Ovo tehničko rešenje može da nađe primenu u praksi, a pomenuta potvrda/dokaz o uspešno sprovedenim ispitivanjima se nalazi u prilogu. Novi proizvod (sinterovani bazalt) može da ima ulogu kao zamena za metalne materijale.

11) TEHNIČKA DOKUMENTACIJA u prilogu

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

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

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

Prilog 4. Recenzija 1 (prof dr Aleksandar Sedmak, dipl. ing. mašinstva)

Prilog 5. Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešanje za svakog od autora pojedinačno.

Prilog 6. Dokaz o publikaciji u časopisu kategorije M23

Literatura

1. C. Parmelee, Ceramic Glases, M. Deker, Chicago, 1986.
2. W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlman, Introduction to Ceramics, a Wiley – Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1976.
3. G. H. Beall, H.L. Rittler, Am Ceram Soc Bull, 55 (1976) 579–82, ISBN ISSN 0002-7812.
4. Barth T. F., Theoretical petrology, John Wiley and Sons Inc., New York-London, 1952.
5. B. Matović, S. Bošković, J.Serb.Chem.Soc. 68 (6) (2003) 505-510.
6. M. Cosić, M. Logar, B. Marović, V. Poharc- Logar, Sci. Sinter. 42 (2010) 383-388.
7. Z. Nikolić, K. Shinagawa, Sci. Sinter. 49 (2017) 1-10.
8. Parra Parra, M. Vlasova, P. Antonio Márquez Aguilar, T. Tomila, Sci. Sinter. 49 (2017) 207-224.
9. M. Cocić, M. Logar, S. Erić, V. Tasić, S. Dević, S. Cocić, B. Matović, Sci. Sinter. 49 (2017) 431-443
10. Lj. Kostić–Gvozdenović, R. Ninković, Neorganska hemijska tehnologija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1997.
11. R. Simic, N.Gilic, in: Conference Rock, Arandelovac, 2000, Proceedings, p. 150-155.
12. A. Prstic, Z.Aćimovic-Pavlovic, M. Cosic, Lj.Andric, Z. Aćimovic, in: XI Balkan Mineral Processing Congress, Tirana, Albania, 2005, p.422-425.
13. R. Simic, A. Prstic, N. Gilic, in: Conference -Cement 2002, Struga-Macedonia, 2002, Proceedings, p.156-160.
14. Z. Aćimović, Lj. Andrić, V. Milošević, S. Milićević, in: IX Symposium Metals and Nonmetals, Zenica, B&H, 2012, Proceedings, p. 150-155.
15. N.I. Kharbediya, V.M. Bakhtadze, Glass and Ceramics, 8 (1967) 43-44.
16. M. Pavlović, M. Sarvan, F. Klisura, Z. Aćimović, in: 4th Conference Maintenance 2016, Zenica, BiH, 2016, Proceedings, p. 175-183.
17. D. Čikara, A. Todić, D. Čikara-Anić, FME Trans., 38 (2010) 203-207.
18. E. Erckenk, S. Ugur, S. Yilmaz, Ceram. Int., 37 (2011) 883-889.
19. S. Yilmaz, G. Bayrak, S. Sen, U. Sen, Mater. Des., 27 (2006) 1092-1096.
20. A. Karamanov, M. Pelino, J Non-Cryst Solids, (1-3) (2001) 281 139-51.
21. S. Marica, in: Bulletin of the Geological Society of Greece 2004, 36, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, Greece, 2004, pp. 104-108.
22. Prstic A, R. Simic, Lj. Andric, Z. Acimovic, in: Mineral Processing in 21stCentury –X Balkan Mineral Processing Congress, Varna, Bulgaria, 2003, Proceedings, p. 893-897.
23. Lj. Andrić, Z. Aćimović-Pavlović, M. Trumić, A. Prstić, Z. Tanasković, Mater. Des., 33 (2012) 9-13.
24. M. Pavlović, M. Đuričić, A. Mumđić, in: SED 2015, Užice-Srbija, 2015, Proceedings, p. 53-60.
25. V. Fiore, G. Di Bella, A. Valenza, Mater. Des., 32 (2011) 2091-2099.
26. MT Dehkordi, H. Nosraty, MM. Shokrieh, G. Minak, D. Ghelli, Mater. Des., 31(2010) 3835-44.
27. A. Todic, B. Nedeljkovic, D. Cikara, I. Ristic, Mater. Des., 32 (2011) 1677-1683.
28. Karmanov A., S. Ergul, M. Akyiliz, M. Pelino, J Non-Cryst Solids 354 (2008) 290-295.
29. M. Dojčinović, Chem.Ind. 67 (2) (2013) 323-330.
30. M. Dojčinović, S. Marković, J.Serb.Chem.Soc. 71 (8-9) (2006) 997-984.
31. M. Pavlovic, M. Dojcinovic, S. Martinovic, M. Vlahovic, Z. Stevic, T. Volkov-Husovic, Composites Part B 97 (2016) 84-91.
32. M. Pavlović, M. Dojčinović, S. Martinović, M. Vlahović, Z.Stević, M. Jovanović, T.Volkov-Husović, Sci. Sintering, 49 (2017) 175-185.

33. J. P. Franc, J. M. Michel (Eds), Fundamentals of cavitation, Series Fluid Mechanics and Its Applications, Kluwer Academic Publiser, New York (2004), p.306.
34. Garsija -Atance Fatjó, M. Hadfield, K. Tabeshfar, Ceram. Int. 37 (2011) 1919-1934.
35. Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test, G32-92. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02. Philadelphia: ASTM; 1992.
36. M. Dojčinović, PhD Thesis, University of Belgrade, Faculty Technology and Metallurgy, 2007.
37. M. Dojčinović, Mater.Sci.-Poland 26 (2011) 216-222.
38. Image Pro Plus, The Proven Solution for Image Analysis, Media Cybernetics: Rockville, MD, USA, 1993.

Rezultati istraživanja iz problematike kojom se bavi prikazano tehničko rešenje objavljeni su u publikaciji - časopisu kategorije M23:
doi:<https://doi.org/10.2298/SOS1904409P>, UDK: 553.532; 532.528; 622.785, (ISSN: 1820-7413);
The Mechanisms of cavitation Erosion of raw and Sintered Basalt, Science of Sintering, 51 (2019) 409-419.

Autori tehničkog rešenja:

potpis

dr Radica Prokić-Cvetković, dipl.ing. metalurgije,
redovni profesor MF Beograd

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

Prilog 1

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 Radica Prokić-Cvetković, redovni profesor, 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: „Sinteza i karakterizacija sinterovanog bazalta sa poboljšanom otpornošću na dejstvo kavitacije“

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 2019 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 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: „Sinteza i karakterizacija sinterovanog bazalta sa poboljšanom otpornošću na dejstvo kavitacije“ autora Radica Prokić-Cvetković, 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, (sinterovani bazalt) imaće ulogu kao zamena za metalne materijale za izradu delova opreme u metalurgiji i rudarstvu.

Ovo tehničko rešenje, postupak izrade sinterovanog bazalta može da se primeni u proizvodnom polu-industrijskom 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: „Sinteza i karakterizacija sinterovanog bazalta sa poboljšanom otpornošću na dejstvo kavitacije“, 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.

**МИШЉЕЊЕ
О ПРИЈАВИ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА**

Пријава техничког решења	Садржи (навести податке)	Не садржи
Име и презиме аутора решења	Радица Прокић-Цветковић, Марина Дојчиновић, Марко Павловић, Љубиша Андрић, Милан Петров, Драган Радуловић	
Назив техничког решења	Синтеза и карактеризација синтерованог базалта са побољшаном отпорношћу на дејство кавитације.	
Кључне речи	ровни базалт, синтеровани базалт, кавитација, отпорност на дејство кавитације, губитак масе, кавитационе брзине, морфологија оштећења површине	
За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде)	Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (Лабораторија за припрему минералних сировина), Београд	
Година када је решење комплетирано	2020.	
Година када је почело да се примењује и од кога	2019 година, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (Лабораторија за припрему минералних сировина), Београд	
Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи	Материјали, обрада и прерада	
Проблем који се техничким решењем решава (до 100 речи)	Предложена је оптимизација процеса синтеровања базалта који ће произвести материјал жељених својстава и структуре у циљу примене у хидродинамичким условима. Као полазни материјал коришћене су оливин-пироксенске базалтне стена из лежишта Врело-Копоник (ровни базалт). Одређена је отпорност ровног и синтерованог базалта на дејство кавитације применом ултразвучне вибрационе методе са стационарним узорком. На основу резултата добијених у овом техничком решењу могуће је проценити отпорност	

	<p>на дејство кавитације равног и синтерованог базалта на основу морфологије оштећења површине применом скенирајуће електронске микроскопије и компјутерске анализе слике и израчунатих кавитационих брзина.</p>	
<p>Стање решености тог проблема у свету (до 100 речи)</p>	<p>Базалт је широко распрострањена и лако доступна сировина. Развој технологија прераде базалтних стена у производе различитих својстава је актуелан у свету у свим индустријским гранама у којима је битна хемијска постојаност и отпорност на хабање. Стакло –керамика на бази базалта има хомогену структуру, високе вредности механичких својстава, корозиону постојаност и може да замени металне материјале у условима високих температура, корозије, протока флуида. Добијање и примена композитних материјала са полимерном основом и ојачивачем на бази базалта присутна је у изради конструкционих елемената који су у експлоатацији изложени хабању. Производи као што су базалтна вуна, влакна, базалтна пластика и арматура налазе широку примену за израду делова и опреме у машинској индустрији, ауто индустрији, бродоградњи, грађевинарству.</p>	
<p>Опис техничког решења (до 100 речи)</p>	<p>За добијање узорака за испитивање коришћене су базалтне стене из лежишта Врело Копаоник. Узорци равног базалта сечени су из одабраних базалтних стена. Млечењем је добијен базалтни прах који је пресован и синтерован према одређеном режиму. Фазни састав базалтног праха и узорака (ровни и синтеровани базалт) одређен је применом рендгенске дифракционе анализе. За испитивање отпорности узорака у лабораторијским условима примењена је ултразвучна вибрациона метода са стационарним узорком према стандарду АСТМ Г32. У току испитивања праћен је губитак масе на основу кога је</p>	

	на крају испитивања израчуната кавитациона брзина. После сваког временског интервала испитивања осим промене масе, праћена је и морфологија оштећења површине применом скенирајуће електронске микроскопије и компјутерске анализе слике.	
Техничка документација	Пријава техничког решења, објављен рад у часопису категорије M23	
Валидан доказ о примени техничког решења (потврда установе/компаније која га користи и др.)	Прилог 2.	
Листа раније прихваћених техничких решења за сваког од аутора појединачно	Прилог 5.	
Мишљење члана ННВ за поднету пријаву техничког решења (до 200 речи)		
<p>Техничко решење „Синтеза и карактеризација синтерованог базалта са побољшаном отпорношћу на дејство кавитације“ показало је оптималну технологију израде синтерованог базалта са поступцима припреме базалтних стена у пуниоц одређене величине и облика зрна, поступке пресовања и изабрани режим синтеровања што је допринело добијању компактне ситнозрне структуре материјала са високим својствима отпорности на дејство кавитације. За карактеризацију добијеног синтерованог базалта и оцену могућности примене у ригорозним условима у металургији и рударству примењене су методе: метода рендгенске дифракције, скенирајућа електронска микроскопија, ултразвучна вибрациона метода са стационарним узорком (којом је одређена отпорност на дејство кавитације узорака равнoг и синтерованог базалта). Испитано је настајање и развој оштећења површине узорака под дејством кавитације са циљем утврђивања могућности примене ових материјала за израду конструкционих елемената који су у експлоатацији изложени сличним условима експлоатације. Анализа губитака масе узорака и промена морфологије оштећења у току испитивања показала је различите ефекте оштећења равнoг и синтерованог базалта. Сви добијени резултати су показали да узорци синтерованог базалта на бази оливин-пироксенског базалта из испитиваног лежишта Врело-Копаноник показују високу отпорност на дејство кавитације и да могу бити примењени у хидродинамичким условима у којима се очекује појава кавитације.</p> <p>Србија располаже квалитетним базалтом (базалтним стенама) што ствара могућност истраживања технологија прераде и шире примене ове врсте ватросталних материјала и производа у различитим индустријским гранама.</p>		
Предлог члана ННВ о прихватању пријаве техничког решења (обележити)	Прихвата се	

Датум		
Име и презиме члана ННВ	Александар Седмак	
Потпис члана ННВ		
Сагласност Комисије за НИД на мишљење члана ННВ	Сагласна	Није сагласна
Датум састанка Комисије за НИД		

**PRILOG 5: LISTA RANIJE PRIHVAĆENIH TEHNIČKIH REŠANJA ZA
SVAKOG OD AUTORA POJEDINAČNO:**

1. RADICA PROKIĆ-CVETKOVIĆ

2. 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.

3. MARKO PAVLOVIĆ

Nema tehnoloških rešenja

4. LJUBIŠA ANDRIĆ

1. 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.

2. 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:

3. **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.

4. 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.

5. 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.

5. 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 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: 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.

6. DRAGAN S. RADULOVIĆ:

M 81 – Novi proizvod-tehnologija na međunarodnom 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 adsorpcije 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 mehanohemijски aktiviranog fosfata". Tehničke mogućnosti: Mehanohemijски 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. 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
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 poboljšan 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 poboljšan 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 poboljšan 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 litotamnijskog 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 6. Dokaz o publikaciji u časopisu kategorije M23

doi:<https://doi.org/10.2298/SOS1904409P>, UDK: 553.532; 532.528; 622.785, (ISSN: 1820-7413);
The Mechanisms of cavitation Erosion of raw and Sintered Basalt, Science of Sintering, 51 (2019)
409-419.