

„ RUDARSTVO 2020“

11. simpozijum sa međunarodnim učešćem

“MINING 2020“

11st Symposium with international participation

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS

Hotel „ Fontana “, Vrnjačka Banja
8. - 11. septembar 2020.

ZBORNIK RADOVA / *PROCEEDINGS*
RUDARSTVO 2020 / *PROCEEDINGS*

Organizatori:

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina
Privredna komora Srbije

Izdavač / Publisher

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina

Urednik / Editor

Miroslav Ignjatović

Štampa / Printed by

Akadska izdanja doo, Beograd

Tiraž / Copies

180

Beograd, 2020

NAUČNI ODBOR

prof.dr Ljubiša Andrić, ITNMS, Beograd, dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije;
dr Dragan Radulović, ITNMS, Beograd; prof.dr Grozdanka Bogdanović, Tehnički fakultet;
dr Branislav Marković, ITNMS, Beograd; prof.dr Milena Kostović, RGF, Beograd; prof. dr
Jovica Sokolović, Tehnički fakultet, Bor; prof.dr Predrag Jovančić, RGF, Beograd; dr Slavica
Mihajlović, ITNMS, Beograd; dr Dragana Ranđelović, ITNMS, Beograd; dr Vladimir
Jovanović, ITNMS, Beograd; dr Nevad Ikanović, JP Elektroprivreda BiH; prof.dr Omer Musić,
RGG fakultet, Tuzla; dr Zlatko Dragosavljević, rudnik GROT; dr Milenko Ljubojev, IRM Bor; dr
Zajim Hrvat, JP Elektroprivreda BiH; prof. dr Miodrag Denić, Tehnički fakultet, Bor; Prof.dr
Marina Dojčinović, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd; dr Edin Lapandić, JP
Elektroprivreda BiH; dr Miro Maksimović, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; dr Rada Krgović, JP EPS,
Ogranak RB Kolubara; dr Aleksandra Patarić, ITNMS, Beograd; dr Branko Petrović, JP
EPS, Ogranak RB Kolubara; mr Šefik Sarajlić, RMU Đurđevik; dr Jovica Stojanović, ITNMS,
Beograd; dr Dimšo Milošević, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; dr Milisav Tomić, JP EPS, Ogranak RB
Kolubara; dr Halid Čičkušić, ZDR „Kreka“, BiH; mr Žarko Nestorović, JPEPS, Ogranak HE
Đerdap; dr Dragan Milanović, IRM Bor; dr Duško Đukanović, JP PEU, Resavica

PROGRAMSKI ODBOR

dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; Aco Ilić, rudnik Rudnik; dr Dragan
Radulović, ITNMS, Beograd; Jovica Radisavljević, Zijin Bor Copper doo Bor; Saša
Ognjanović, JP PEU, Resavica; Filip Todorović, JP EPS, Ogranak TEKO Kostolac; Borivoje
Stojadinović, IRM Bor; Miloš Đokanović, Alumina Zvornik, R. Srpska; Zoran Vuković, JP EPS;
Nenad Grubin, Rio Sava Exploration; mr Jadranka Vukašinović, JP EPS, Ogranak RB Kolubara
Ivan Filipov, rudnik Kovin; Drago Vasović, rudnik Veliki Majdan

SADRŽAJ / CONTENTS:

Plenarna predavanja / Plenary Presentations

PROBLEMATIKA UPRAVLJANJA RUDARSKIM OTPADOM U PODZEMNIM RUDNICIMA UGLJA U SRBIJI / PROBLEMS OF MANAGING OF MINING WASTE IN UNDERGROUND COAL MINES IN SERBIA Zorica Ivković, Dejan Dramlić, Radmila Kotoran, Jelena Trivan	10
STRATEŠKO ODLUČIVANJE PRI IZBORU NOVIH ROTORNIH BAGERA ZA POVRŠINSKE KOPOVE LIGNITA: PRIMER RUDARSKOG BASENA KOLUBARA / STRATEGIC DECISION IN SELECTION OF NEW BUCKET WHEEL EXCAVATORS FOR OPEN PIT MINES: EXAMPLE FOR KOLUBARA MINING BASIN Predrag Jovančić, Stevan Đenadić, Goran Todorović, Dragan Novaković, Filip Miletić	15
REZULTATI ISTRAŽIVANJA SISTEMA PROVETRAVANJA RUDNIKA SA PODZEMNOM EKSPLOATACIJOM UGLJA U REPUBLICI SRBIJI / RESULTS OF THE RESEARCH OF VENTILATION SYSTEMS FOR COOL MINE IN THE REPUBLIC OF SERBIA Duško Đukanović	25
UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA PROCES BIOLOŠKE REKULTIVACIJE RUDNIČKIH JALOVIŠTA THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE PROCESS OF BIOLOGICAL RECULTIVATION OF MINING TAILINGS Dragana Ranđelović	32
UTICAJ KRUPNOĆE MATERIJALA U ULAZNOJ RUDI I PROIZVODU MLEVENJA NA VREDNOST BOND-OVOG RADNOG INDEXA KREČNJAKA "CARMEUSE"-DOBOJ / IMPACT OF SIZE OF THE FEED ORE AND FINES PRODUCED BY GRINDING ON THE VALUE THE BOND WORK INDEX OF LIMESTONE FROM "CARMEUSE" DOBOJ Dragan S. Radulović, Vladimir Jovanović, Ljubiša Andrić, Milan Petrov, Dejan Todorović, Marina Blagojev	44
SVOJSTVA PVC-a I PLASTIČNIH MATERIJALA I ZNAČAJ NJIHOVE RECIKLAŽE PVC AND PLASTIC MATERIALS PROPERTIES AND IMPORTANCE OF THEIR RECYCLING Slavica R. Mihajlović, Aleksandra S. Patarić, Nataša, G. Đorđević	55
ILUSTRACIJA PROCENE PREDNOSTI IMPLEMENTACIJE SISTEMA MENADŽMENTA KVALITETOM U RUDARSKIM ORGANIZACIJAMA / ILLUSTRATION OF THE ADVANTAGE OF THE QUALITY SYSTEM IMPLEMENTATION INTO MINING/METALLURGY ORGANIZATIONS Slavica Miletić, Miroslav Ignjatović	61
NOVI MULTIFUNKCIONALNI CuAlAg MATERIJALI KOJI PAMTE OBLIK SA PROMENLJIVIM SADŽAJEM ALUMINIJUMA Zdenka Stanojević Šimšić, Ana Kostov, Slavica Miletić, Emina Požega	70

MOGUĆNOST RAZVOJA TEHNOLOGIJA PRERADE BAZALTA
Marko Pavlović 78

Saopštenja / Contributions

ISPITIVANJA ELEKTRIČNOG I MAGNETSKOG POLJA U OKOLINI PRENOSNIH TRANSFORMATORSKIH
STANICA I RAZVODNIH POSTROJENJA/
*TESTING OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS IN THE VICINITY OF TRANSMISSION SUBSTATIONS
AND SWITCHYARDS*

Maja Grbić, Aleksandar Pavlović, Miliša Jovanović, Dejan Hrvić, Sandra Petrović,
Saša Ranđelović 85

ZAŠTITA OD EKSPLOZIJE METANA ILI UGLJENE PRAŠINE U UGLJENIM RUDNICIMA JUŽNE
EVROPE NEKAD I SAD / *PREVENT OF THE SPREAD OF A METHANE GAS OR COAL DUST EXPLOSION
IN THE COAL MINES SOUTH EUROPE IN THE PAST AND TODAY*

Predrag Janošević, Mirko Ivković, Mirza Omerhodžić Klaus Schulte 99

REKULTIVACIJA DEGRADIRANOG ZEMLJIŠTA NASTALOG ODLAGANJEM PEPELA I ŠLJAKE U
„ENERGETIKA“ d.o.o. KRAGUJEVAC / *RECUltIVATION OF DEGRADED LAND CAUSED BY DISPOSAL
OF ASH AND SLAG IN „ENERGETIKA“ d.o.o. KRAGUJEVAC*

Duško Đukanović, Branko Đukić, Nemanja Đokić 109

ZNAČAJ OTVARANJA RUDNIKA “POLJANA” ZA ODRŽAVANJE I RAZVOJ PODZEMNE EKSPLOATACIJE
UGLJA U SRBIJI / *THE IMPORTANCE OF OPENING THE “POLJANA” MINES FOR THE MAINTENANCE
AND DEVELOPMENT OF UNDERGROUND COAL EXPLOITATION IN SERBIA*

Vladimir Todorović, Zorica Ivković, Dražana Tošić 117

TEHNOLOGIJA ZAMENE LEŽAJEVA I SFERNOG LEŽAJA VEŠANJA TRAKE 2 NA ODLAGAČU A2R_sB 7200
(TAKRAF) NA POVRŠINSKOM KOPU UGLJA "DRMNO"

Velimir Spasić, Goran Anđelić, Filip Todorović 125

ANALIZA DISLOKACIJE KONTINUALNOG SISTEMA SA PK „POLJE D“ NA PK „RADLJEVO“ SEVER U
FUNKCIJI KONTINUITETA PROIZVODNJE UGLJA I JALOVINE U KOLUBARSKOM UGLJENOM BASENU

Milan Petrović: Svetolik Simić, Vladan Ivković, Radojica Radojičić, Nebojša Simić 130

KOMPLEKSNOŠT ZAŠTITE I PRIMJENA SAVREMENIH METODA UPRAVLJANJA I NADZORA SISTEMOM
ODBRANE POVRŠINSKOG KOPA „GACKO“ OD VODA / *COMPLEXITY OF PROTECTION AND
APPLICATION OF MODERN METHODS OF MANAGEMENT AND SUPERVISION OVER WATER DEFENCE
SYSTEM OF THE OPEN-CAST- MINE “GACKO”*

Petar Marković, Dušan Govedarica, Aleksandar Ateljević, Ranko Stojanović 137

MOGUĆNOST POVEĆANJA EKSPLOATACIONOG VEKA RUDNIKA
OPPORTUNITIES TO INCREASE THE EXPLOATATION LIFE OF THE MINE

Ivan Filipov 151

<p>PROJEKTOVANE I REALNE MOGUĆNOSTI SEPARACIJE UGLJA U RA "VRŠKA ČUKA" AVRAMICA <i>PROJECTED AND REAL POSSIBILITY OF COAL SEPARATION IN ANTHRACITE COAL MINE "VRŠKA ČUKA" AVRAMICA</i> Jovica Sokolović, Slobodan Mitić, Branislav Stakić, Dejan Ćirić</p>	161
<p>PROCESNI PRISTUP DOLIVANJU GORIVA MAŠINAMA I VOZILIMA POMOĆNE MEHANIZACIJE, PRAĆENJE NJIHOVE POTROŠNJE I EVIDENCIJA UTOŠKA ENERGENATA NA POVRŠINSKOM KOPU UGLJA "DRMNO" / <i>PROCESS APPROACH TO REFUELING MACHINES AND VEHICLES OF AUXILIARY MACHINERY, MONITORING THEIR CONSUMPTION AND RECORDS OF ENERGY CONSUMPTION AT THE SURFACE COAL MINE "DRMNO"</i> Filip Todorović, Stevan Popović</p>	162
<p>MONITORING PRIRODNIH RESURSA U ZONI POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE LIGNITA DALJINSKOM DETEKCIJOM Milislav Tomić; Dejan Kurtov; Tomislav Rikanović; Miodrag Tomić; Aleksandar Radosavljević</p>	167
<p>UTICAJ RUDARSKO-GEOLOŠKIH FAKTORA NA IZBOR MODELA OTKOPAVANJA UGLJENIH SLOJEVA KOMPLEKSNOM MEHANIZACIJOM Halid Čičkušić, Omer Musić, K. Herco</p>	174
<p>EKOLOŠKI RIZICI I BENEFITI TOKOM GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA UGLJA, KOLUBARSKI UGLJONOSNI BASEN / <i>ENVIRONMENTAL RISKS AND BENEFITS OF GEOLOGICAL EXPLORATION OF COAL, COAL BASIN KOLUBARA</i> Bogoljub Vučković</p>	184
<p>ANALIZA MOGUĆIH UTICAJA EKSPLOATACIJE UGLJA U POVRŠINSKOM KOPU POLJE "C" NA ŽIVOTNU SREDINU / <i>ENVIRONMENT FEATURES AND COAL EXPLOITATION IN OPEN PIT "C", KOLUBARA COAL BASIN, WESTERN SERBIA</i> Marina Vučković, Tijana Marinković</p>	193
<p>USMERAVANJE RUDARSKIH RADOVA U TOKU PROCESA EKSPLOATACIJE UGLJA NA PK „POLJE G“ U CILJU EFIKASNIJE HOMOGENIZACIJE I SMANJENJA EKSPLOATACIONIH GUBITAKA <i>DIRECTING MINING WORKS IN THE PROCESS OF COAL EXPLOITATION IN THE PK "G FIELD", FOR THE EFFECTIVE HOMOGENIZATION AND REDUCTION OF EXPLOITATION LOSSES</i> Slobodan Lalatović</p>	201
<p>PROMENE KOJE UTIČU NA KVALITET UGLJA TAMNAVA VEZANOG ZA POSTROJENJE ZA PRIPREMU I OBRADU UGLJA SA AUTOMATSKIM UZIMANJEM UZORAKA / <i>CHANGES AFFECTING THE QUALITY OF TAMNAVA COAL RELATED TO COAL PREPARATION AND TREATMENT PLANT WITH AUTOMATIC COAL SAMPLING</i> Rada Krgović, Jadranka Vukašinović, Vlada Pavlović</p>	215
<p>IDEJNO TEHNIČKO RJEŠENJE POVEĆANJA ISKORIŠĆENJA FRAKCIJE -0,2+0mm NA LINIJI ZA MLJEVENJE BOKSITA U ALUMINI ZVORNIK Miloš Đokanović, Rajko Aleksić</p>	228

PRIJEDLOG TEHNIČKOG RJEŠENJA PROSIJAVANJA FRAKCIJE -30+0mm IZ BOKSITA PRIJE OPERACIJE DROBLJENJA U FABRICI GLINICE ALUMINA ZVORNIK Miloš Đokanović, Radenko Smiljanić, Rajko Aleksić	233
EFEKTI PRIMENE MIKRONIZIRAJUĆEG MLEVENJA NA KVALITET VATROSTALNIH PUNIOCA NA BAZI PIROFILITA, MULITA, KORDIJERITA I CIRKONA Ljubiša Andrić, Dragan Radulović, Marko Pavlović, Marina Dojčinović, Milan Petrov, Zorica Tanasković	238
PONAŠANJE MIKROLEGIRANOG ČELIKA U USLOVIMA DEJSTVA KAVITACIJE Marina Dojčinović, Irena Grigorova, Marko Pavlović, Ljubiša Andrić, Dragan Radulović, Milan Petrov	244
STUDIJA SLUČAJA POVEĆANOG SPECIFIČNOG OTPORA NA KOPANJE JALOVINSKIH SISTEMA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE – ANALIZA TROŠKOVA PROIZVODNJE USLED LOMA REZNIH ELEMENATA Lazić Marko, Rupar Veljko, Miletić Filip	250

MOGUĆNOSTI RAZVOJA TEHNOLOGIJA PRERADE BAZALTA

Marko Pavlović¹, Ljubiša Andrić², Marina Dojčinović³, Irena Grigorova⁴, Zorica Tanasković⁵,
Dragan Radulović², Milan Petrov²

¹Kontrol inspekt, Beograd, Srbija; ²Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, Srbija; ³Univerzitet u Beogradu, Tehnološko metalurški fakultet, Beograd, Srbija, ⁴University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria; ⁵Viša poslovno tehnička škola, Užice

Apstrakt

U radu je ispitivana mogućnost primene bazalta iz ležišta Vrelo - Kopaonik, za dobijanje proizvoda staklo-keramike poboljšanih svojstava za primenu u proizvodnji konstrukcionih elemenata opreme u metalurgiji i rudarstvu. Jedan od ciljeva bio je i proširenje primene ispitivanih keramičkih materijala u inženjerskoj praksi kao zamena za metalne materijale. Istraženi su postupci prečišćavanja, mlevenja i mehaničke aktivacije bazalnog agregata, postupci sinteze uzoraka procesima presovanja i sinterovanja, kao i procesi topljenja, livenja i termičkog tretmana. S obzirom na rigorozne uslove eksploatacije u metalurškim i rudarskim procesima u cilju ispitivanja kvaliteta i izbora materijala primenjeno je više metoda karakterizacije -rendgenska difrakciona analiza, optička i skenirajuća elektronska mikroskopija, ultrazvučna vibraciona metoda sa stacionarnim uzorkom, kompjuterska analiza slike. Dobra tehnička svojstva čini bazalt važnom sirovinom za primenu u različitim granama industrije. U radu su prikazani i rezultati istraživanja primene bazalta za izradu vatrostalnih premaza za zaštitu metalnih i nemetalnih konstrukcija, kao i ispitivanje primene ojačivača na bazi bazalta u kompozitima tipa polimerna osnova/bazalni prah za specifične uslove primenu u mašinstvu i građevinarstvu. Srbija raspolaže kvalitetnim bazaltom (stenama bazalta) za istraživanja sinteze novih materijala i široku primenu u industriji. Primena ove vrste sirovina može da doprinese poboljšanju ekonomskih, energetskih i ekoloških aspekata poslovanja metalurških i rudarskih pogona, kao i pogona za reciklažu otpada.

Ključne reči: bazalt, sinterovani bazalt, liveni bazalt, zaštitni premazi, kompoziti, ispitivanje kvaliteta

1. UVOD

Bazalt pripada grupi izuzetno tvrdih vulkanskih stena. Ispitivanja bazalta iz ležišta Vrelo - Kopaonik pokazala su da se radi o kompaktnoj, jedroj bazičnoj vulkanskoj steni sa karakteristikama 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 [1]. Osnovni oksidi koji određuju kvalitet rastopa bazalta pri dobijanju proizvoda staklo-keramike su SiO₂, Al₂O₃, 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, otpadaka iz keramičke industrije i drugih sastojaka [2,3]. Dobra tehnička svojstva čini bazalt važnom sirovinom za primenu u građevinarstvu, za izgradnju puteva za sve vrste saobraćajnih opterećenja, za izradu zastora brzih železničkih pruga. Kao arhitektonsko građevinski kamen može se upotrebiti za oblaganje spoljnih i unutrašnjih horizontalnih i vertikalnih

površina, za izradu dekorativnog nameštaja, posuđa, glazura za dekorisanje različitih keramičkih i drugih proizvoda, za izradu podnih obloga u proizvodnim pogonima i halama, za sve vrste hidrotehničkih radova [4]. Rovni bazalt i proizvodi staklo-keramike na bazi 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 [5, 6]. U svetu bazalt se široko koristi za 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 [7 -10]. Tehnologija prerade bazaltnih stena je ekološki čista, a proizvodi dobijeni tehnološkom preradom bazalta nisu kancerogeni [3, 6].

2.EKSPERIMENT

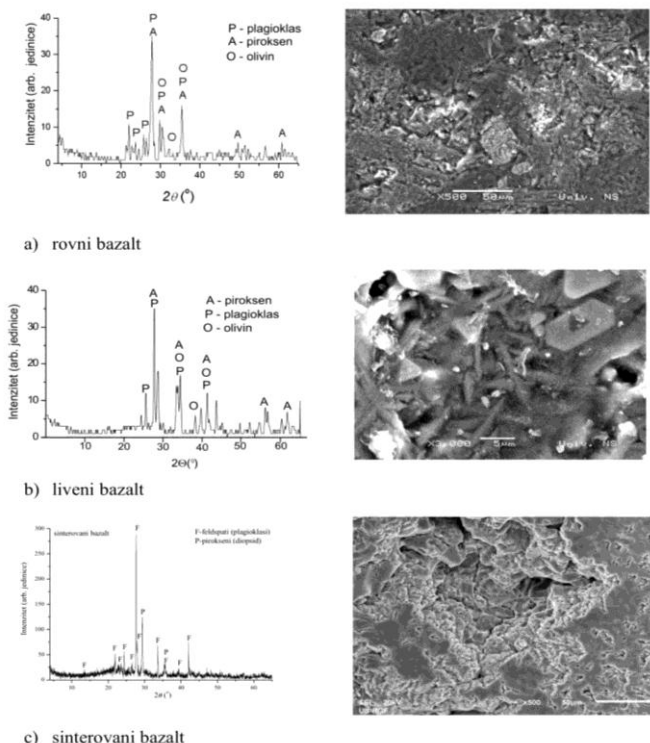
Osnovna svojstva bazalta, koja su uticala na njegov izbor za istraživanje tehnologija prerade i procenu mogućnosti primene u inženjerskoj praksi, kao zamene za metalne materijale, bila su: gustina 2460-2960 kg/cm³; osnovni sadržaj stakla 10-15%; temperatura topljenja 1300-1400 °C; visoka tvrdoća po Mosh skali 6.5-7; čvrstoća na pritisak MPa; poroznost 3,78%; sadržaj vlage 1-1,2%; visoka otpornost na mraz, toplotu, otpornost na habanje, koroziju, dejstvo kiselina i baza; nije kancerogen [1, 3]. Sastav ispitivanih bazaltnih stena iz ležišta Vrelo- Kopaonik: 55,9% SiO₂; 18,5% Al₂O₃; 1,15% Fe₂O₃; 2,98%FeO; 3,49%MgO; 7,79%CaO; 4,56%Na₂O; 3,29%K₂O; 1,12% TiO₂. U radu su istraživani postupci dobijanja uzoraka staklo-keramike na bazi sinterovanog i livenog bazalta, uzoraka vatrostalnih premaza i uzoraka kompozita polimerna osnova/bazaltni prah [2, 9].Uzorci livenog bazalta dobijeni su procesima topljenja drobljenih stena rovnog bazalta na temperaturi 1250°C i livenjem ispitnih ploča u peščane kalupe. U cilju smanjenja unutrašnjih naprezaanja livene probne ploče su odgrevane na temperaturi 850°C/2h, a zatim su postupno hladene u peći do sobne temperature. Uzorci sinterovanog bazalta dobijeni su presovanjem bazaltnog praha veličine zrna 20 μm, pomešanog sa aditivima za presovanje (0,6% bentonit; 0,5% celuloza) pod pritiskom 10⁶ Pa, koji su sinterovani na 1150 °C po režimu procesa sinterovanja: podizanje temperature do 1000 °C brzinom 5 °C/min u trajanju od 200 min; zatim zagrevanje do 1150 °C brzinom zagrevanja 2 °C/min u trajanju 100 min; sinterovanje na 1150 °C u trajanju 1 h. Uzorci zaštitnih premaza na bazi bazalta izrađeni su prema istraženim postupcima i sastavima premaza koji su se kretali u granicama: vatrostalni punioc na bazi bazalta, veličine zrna punioca 15 μm, 80-85%; vezivo na bazi epoksi smole, 12-17%; organski aditivi u cilju poboljšanja reoloških svojstava premaza i organski rastvarač (toluol). Kompoziti sa osnovom od nezasićene poliestarske smole i ojačivača na bazi bazalta, veličine zrna punioca od 20 μm urađeni su po istraženom postupku mešanja komponenti, izlivanja u kalupe i procesa polimerizacije u trajanju od 48h. Za procenu mogućnosti primene bazalta za izradu delova industrijske opreme koja je radu izložena rigoroznim uslovima eksploatacije primenjena je ultrazvučna vibraciona metoda sa stacionarnim uzorkom prema standardu ASTM G-32 [11]. Ova metoda je primenjena s

obzirom da, kavitacija, koja se razvija tokom ispitivanja, izaziva habanje i pojavu oštećenja ispitivane površine uzoraka, pri čemu se razvijaju visoke temperature i pritisci, pojava hemijske korozije, a što sve odgovara i uslovima oštećenja opreme u praksi. Za procenu kavitacione otpornosti uzoraka bazalta praćena je promena mase uzoraka u funkciji vremena delovanja kavitacije. Rendgenska difrakciona analiza korišćena je za određivanje i praćenje faznog sastava ispitivanih uzorka na bazi bazalta. Uzorci su analizirani na rendgenskom difraktometru marke "PHILIPS", model PW-1710. Morfološka i kvantitativna hemijska analiza punioca urađena je na skenirajućem elektronskom mikroskopu (uređaj "JEOL" JSM 6610LV). Takođe, praćena je promena parametara strukture i otpornosti uzoraka primenom programa za kompjutersku analizu slike, Image Pro Plus [12]. Na osnovu dobijenih rezultata izvršeno je poređenje svojstava ispitivanih uzoraka i procena mogućnosti njihove primene za date uslove eksploatacije.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

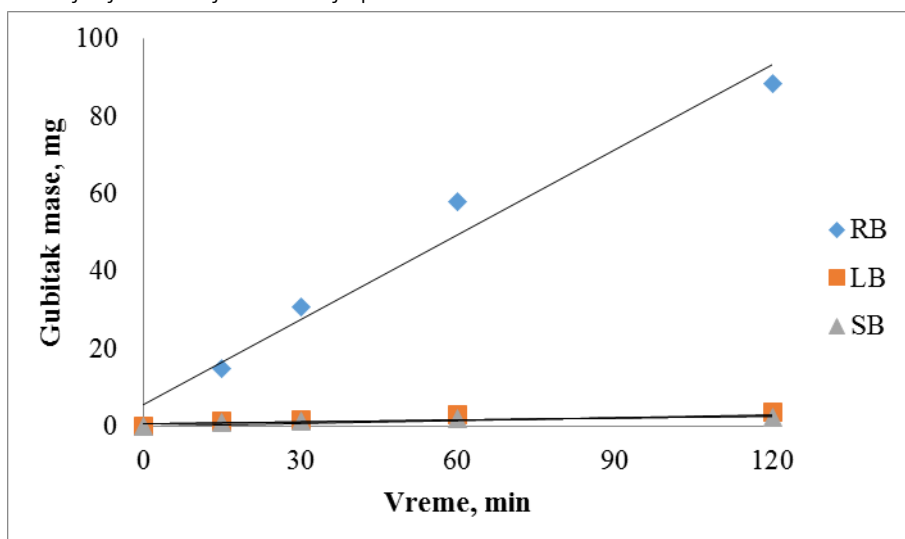
Uzorci staklo-keramike na bazi livenog i sinterovanog bazalta

Na slici 1 prikazan je mineralni sastav i struktura ispitivanih uzoraka na bazi bazalta, polazne sirovine (rovni bazalt), kao i staklo-keramike na bazi livenog i sinterovanog bazalta.



Slika 1. XRD difraktogram i SEM mikrofotografija uzorka rovnog bazalta (a) i staklo-keramike na bazi livenog i sinterovanog bazalta (b,c).

Iz XRD difraktograma može se zaključiti da su u sastavu uzoraka rovnog i livenog bazalta prisutni plagioklasi, pirokseni, olivini, slika 1a,b, dok kod uzoraka sinterovanog bazalta pretežno su prisutni minerali feldspat i plagioklas. Mikrostruktura stene bazalta je predstavljena olivin-piroksenskim bazaltom, slika 1a. Osnova strukture livenog bazalta je kriptokristalasti piroksen sa nehomogenim različitim agregatima plagioklasa i olivina, slika 1b. U strukturi sinterovanog bazalta prisutni su ravnomerno raspoređeni kristali plagioklasa i piroksena u osnovnoj masi uzorka, slika 1c. Mikrostrukture livenog i sinterovanog bazalta su kompaktne bez prisustva poroznosti, što doprinosi dobrim svojstvima otpornosti na dejstvo habanja i kavitacije. Poređenje svojstava otpornosti na dejstvo kavitacije i ocena mogućnosti primene uzoraka na bazi bazalta obavljeno je, pod istim uslovima ispitivanja, prema kriterijumima: vrednost kavitacionih brzina (gubitak mase uzoraka u vremenu ekspozicije), prikazano na slici 2 i analize morfologije oštećenja površine uzoraka kojom se pratilo nastajanje i razvoja oštećenja površine uzoraka.



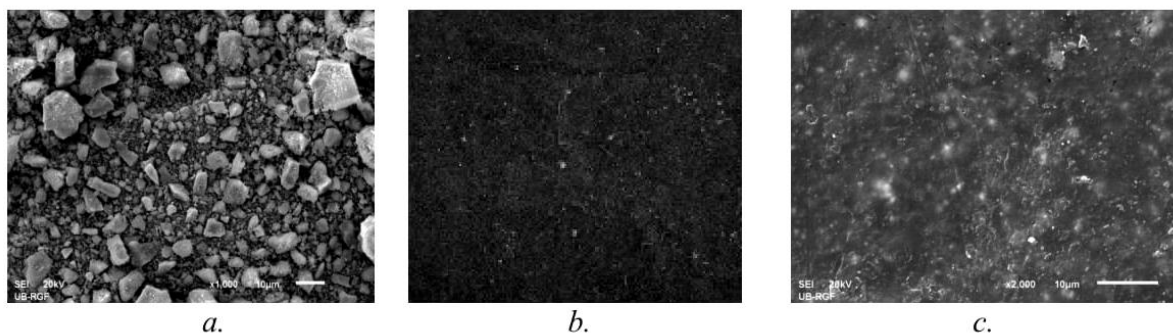
Slika 2. Kavitacione brzine uzoraka na bazi bazalta: rovni bazalt; liveni bazalt i sinterovani bazalt.

Najbolje rezultate otpornosti na kavitaciona naprezanja pokazuju uzorci livenog bazalta (sa kavitacionom bezinom 0,02 mg/min), zatim sinterovanog bazalta sa kavitacionom bezinom 0,03 mg/min, dok uzorci rovnog bazalta imaju manju kavitacionu otpornost sa kavitacionom brzinom 0,74mg/min. Uzorci livenog i sinterovanog bazalta se mogu primenjivati u praksi u uslovima visokih kavitacionih opterećenja. Praćenje promene morfologije površine uzoraka livenog bazalta tokom ispitivanja na dejstvo kavitacije pokazalo je pojavu manjih jamica na površini uzoraka koje se tokom ispitivanja menjaju

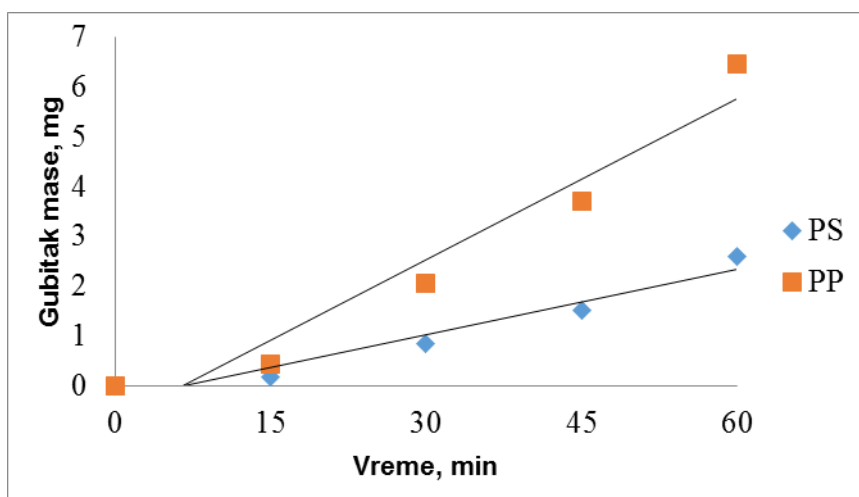
malom brzinom usled gubitka mase uzorka. Dominantan mehanizam oštećenja sinterovanih uzoraka bio je lagano povećanje gubitka mase uzoraka sa površine jamica bez deformacije i promene strukture uzoraka.

Uzorci zaštitnih vatrostalnih premaza na bazi bazalta

Ispitivanje zaštitnih vatrstalnih premaza na bazi bazalta, slika 3, pokazalo je visoku kavitacionu otpornost premaza nanetih na metalnu (uzorak PP) i polimernu osnovu (uzorak PS) prikazano na slici 4.



Slika 3. Zaštitni premaz na bazi bazalta: a) punioc na bazi bazalta; b) fotografija suspenzije premaza; c) SEM mikrofotografija osušenih slojeva premaza.



Slika 4. Kavitacione brzine uzorka premaza PP i PS.

S obzirom da se vatrostalni premazi na bazi bazalta do sada nisu koristili u praksi livnica, niti za zaštitu delova opreme u metalurgiji, dobijeni rezultati imaju značaja za razvoj ove vrste vatrostalnih proizvoda. Polazne istražene recepture zaštitnih premaza i postupci njihove izrade premaza mogu se dalje istraživati i razvijati shodno uslovima primene. Takođe, mogu se razvijati i premazi na bazi bazalta za primenu u livnicama za zaštitu pešćanih kalupa i jezgara u procesima livenja. Prema podacima iz literature, premazi na bazi bazalta do sada nisu korišćeni.

Kompoziti polimerna osnova/bazaltni ojačivač

Istraženi su kompoziti polimerna osnova /keramički ojačivač, njihova sinteza, struktura, svojstva i primena. Dobijena su zadovoljavajuća svojstva otpornosti na dejstvo kavitacije kod ispitivanih kompozita sa osnovom od poliestarske smole i dodatkom ojačivača na bazi praha bazalta veličine prečnika zrna 20 μm , u količini ispod 0,45 mg. Na osnovu dobijenih rezultata ukazano je da dalja istraživanja kompozita polimerna osnova/bazalt treba proširiti na primenu epoksi smole za osnovu kompozita i bazaltnog praha manjeg prečnika zrna (ispod 10 μm), kao i ojačivača na bazi bazaltnog vlakna.

4. ZAKLJUČAK

Istraživanja prikazana u radu koncipirana su na osnovu predhodno definisanih ciljeva da se sagledaju mogućnosti dobijanja vatrostalnih proizvoda na bazi bazalta razvojem postupaka pripreme bazalnih stena i postupaka sinteze livenih i sinterovanih uzoraka, zaštitnih premaza i kompozita. Planiranje istraživanja obavljeno je i na osnovu analize literature u predmetnoj oblasti. Ostvareni rezultati su:

- Određena je metodologija za kvalitativnu i kvantitativnu ocenu efekata delovanja kavitacije na površinu uzoraka na bazi kavitacionih brzina i analize morfologije oštećenja površine uzoraka.
- Definisani su elementi za procenu rizika i mere za kontrolu rizika nastajanja i razvoja oštećenja usled dejstva kavitacije koji mogu da se primene za različite materijale u sličnim eksploatacionim uslovima.
- Definisani su optimalni parametri dobijanja bazaltnog agregata procesima drobljenja, mlevenja i mehaničke aktivacije za sintezu livenih i sinterovanih uzoraka bazalta. Predložena je optimizacija procesa sinteze livenog i sinterovanog bazalta u cilju postizanja zahtevane strukture i poboljšanih svojstava otpornosti na dejstvo kavitacije.
- Definisani su sastavi i parametri sinteze novih vatrostalnih premaza sa puniocem na bazi bazalta za zaštitu i povećanje otpornosti na dejstvo kavitacije metalnih i nemetalnih konstrukcija.

Zahvalnica

Rezultati ovih istraživanja finansirani su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

1. G. H. Beall, H.L. Rittler: Basalt glass ceramics, *Am Ceram Soc Bull*, 55 (1976) 579–82.
2. M. Pavlovic, M. Dojčinovic, R. Prokić-Cvetkovic, Lj. Andrić, Z. Ceganjac, Lj. Trumbulovic: Cavitation wear of Basalt Glass Ceramic, *Materials*, 12 (9) (2019) 1552.
3. Barth T. F.: *Theoretical petrology*, John Wiley and Sons Inc., New York-London, 1952.
4. M. Pavlović, M. Sarvan, F. Klisura, Aćimović Z.: Bazalt – sirovina za proizvodnju agregata za moderne pokrove cesta i željezničkih pruga, Četvrta konferencija– Održavanje 2016, *Proceedings*, s. 175, 02-04. juni 2016, Zenica B&H, Godina 4, No1.
5. B. Matović, S. Bošković, J.Serb.Chem.Soc. 68 (6) (2003) 505-510.
6. D. Čikara, A. Todić, D. Čikara-Anić, *FME Trans.*, 38 (2010) 203-207.
7. V. Fiore, G. Di Bella, A. Valenza, *Mater Des*, 32 (2011) 2091–9.
8. A. Karmanov, S. Ergul, M. Akyiliz, M. Pelino, *J Non-Cryst Solids* 354 (2008) 290–295.
9. M. Pavlović, M. Dojčinović, R. Prokić-Cvetković, Lj. Andrić: The Mechanisms of Cavitation Erosion of Raw and Sintered Basalt, *Sci Sintering*, 51 (2019) 409-419.
10. M. Pavlović, M. Dojčinović: Kavitaciona oštećenja vatrostalnih materijala, monografija, Akademska misao, Beograd, 2020.
11. Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test, G32-92. *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.02. Philadelphia: ASTM; 1992.
12. Image Pro Plus, The Proven Solution for Image Analysis, Media Cybernetics, 1993.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

622(082)

502/504(082)

СИМПОЗИЈУМ са међународним учешћем "Рударство" (11 ; 2020 ; Врњачка Бања)

Zbornik radova = Proceedings / 11. simpozijum sa međunarodnim učešćem "Rudarstvo 2020", Vrnjačka Banja 8. - 11. septembar 2020. = 11st [i.

e.11th] Symposium with International Participation "Mining 2020" ; [urednik, editor Miroslav Ignjatović] ; [organizatori Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina [i] Privredna komora Srbije]. - Beograd : Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 2020 (Beograd : Akademska izdanja). - 243 str. : ilustr. ; 25 cm

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

ISBN 978-86-82867-28-9

1. Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (Београд) 2. Привредна комора Србије (Београд)

а) Рударство - Зборници б) Животна средина - Заштита - Зборници

COBISS.SR-ID 19693065