

Marko Pavlović<sup>3\*</sup>, Marina Dojčinović<sup>1</sup>,  
Radica Prokić-Cvetković<sup>2</sup>, Ljubiša Andrić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet,  
Beograd, Srbija, <sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet,  
Beograd, Srbija, <sup>3</sup>Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih  
mineralnih sirovina, Beograd, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC: 552.1:552.3:691.327

doi: 10.5937/zasmat1902182P



Zastita Materijala 60 (2)  
182 - 189 (2019)

## Nastajanje i razvoj oštećenja bazalta pod dejstvom kavitacije

### IZVOD

U radu je ispitivana otpornost na dejstvo kavitacije uzoraka livenog bazalta. Uzorci su dobijeni topljenjem, livenjem i termičkim tretmanom izdrobljenih bazaltnih stena iz ležišta Vrelo Kopaonik. Eksperiment je vođen primenom ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom prema standardu ASTM G-32. Za procenu otpornosti na dejstvo kavitacije praćena je promena mase uzoraka u funkciji vremena delovanja kavitacije. Nastajanje i razvoj oštećenja pod dejstvom kavitacije praćeni su skeniranjem elektronskim mikroskopom, a nivo degradacije površine uzoraka kvantifikovan je primenom analize slike. Rezultati su pokazali visok stepen otpornosti na dejstvo kavitacije uzoraka livenog bazalta, sa kavitacionom brzinom 0,0294 mg/min. To ukazuje na mogućnost njihove primene za izradu izvesnih konstrukcionih delova opreme za primenu u metalurgiji, kao zamena za metalne materijale.

**Ključne reči:** bazalt, oštećenje pod dejstvom kavitacije, gubitak mase, analiza slike.

### 1. UVOD

Bazalt je izuzetno tvrda vulkanska stena. Predstavlja jeftinu i široko rasprostranjenu sirovinu, koja procesima sinterovanja ili topljenja i livenja, sa određenim termičkim tretmanom, može da se primeni za izradu vatrootalnih materijala sa specifičnim mehaničkim svojstvima i malom abrazivnošću [1-5]. Pri dobijanju livenog bazalta važan uticaj na kvalitet rastopa pokazuju oksidi SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO. Bazalt iz ležišta Vrelo Kopaonik sadrži ove komponente tako da može da se koristi kao sirovina za sintezu različitih proizvoda. Po potrebi sastav proizvoda može da se koriguje dodatkom prirodnih karbonata (dolomita, krečnjaka), metalurških šljaka, otpada iz industrije keramike i drugih sastojaka [6-10].

Bazalt poseduje dobra tehnička svojstva i primenjuje se u građevinarstvu, za izgradnju puteva za sve vrste saobraćajnih opterećenja, za izradu zastora brzih železničkih pruga [11-14]. Upotrebljava se za oblaganje spoljnih i unutrašnjih horizontalnih i vertikalnih površina, za izradu podnih obloga u proizvodnim pogonima i halama; za

oblaganje uređaja i habajućih delova raznih postrojenja, posebno u cementnoj industriji; za izradu silosa za skladištenje mineralnih sirovina, bunkera za koks i razne rude; za klasifikatore i mešalice; za ozide peći; za sve vrste hidrotehničkih radova [15-18]. Koristi se za sintezu novih materijala i proizvoda kao što su bazaltna vlakna, bazaltna vuna, bazaltna plastika, bazaltna armatura, kompozitni materijali, koji nalaze široku primenu za izradu delova i opreme u mašinskoj industriji, auto industriji, brodogradnji, građevinarstvu [19-21]. Za opštu upotrebu, bazalt se koristi za izradu sanitarne keramike, porcelana, umetničke keramike, za izradu dekorativnog nameštaja, posuđa, glazura za dekoraciju predmeta od keramike i drugih proizvoda [22,23]. Tehnologija prerade bazaltnih stena je ekološki čista, a proizvodi na bazi bazalta nisu kancerogeni, niti, pri primeni, postoje drugi rizici po bezbednost i zdravlje [1].

Prema podacima iz dostupne literature bazalt se primenjuje u uslovima u kojima su prisutne visoke temperature, kavitacija, korozija, dejstvo agresivnih hemikalija i suspenzija, protok fluida [1,3,16-18]. Srbija raspolaže kvalitetnim bazaltom (stenama bazalta) što stvara potrebu za istraživanjima i širom primenom ove vrste materijala za izradu konstrukcionih delova opreme za rad u sličnim eksploatacionim uslovima. U ovom radu istraživana je sinteza uzoraka livenog bazalta, a

\*Autor za korespondenciju: Marko Pavlović

E-mail: pavlovic.marko38@gmail.com

Rad primljen: 28. 02. 2019.

Rad prihvaćen: 08. 04. 2019.

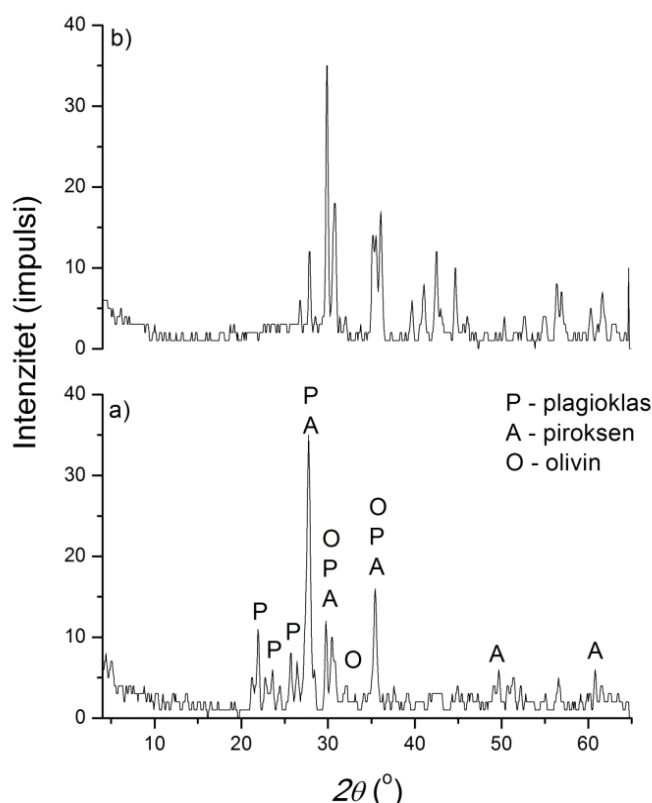
Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

primenom ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom, određena je njihova otpornost na dejstvo kavitacije. Analiziran je odnos kavitacija/oštećenje, zapravo praćeni su efekti delovanja kavitacije na promenu mase uzoraka, nastajanje i razvoj oštećenja površine uzoraka. Procenjena je mogućnost njihove primene u uslovima kavitacionih opterećenja. Kavitaciono testiranje uzoraka primenjeno je s obzirom na uslove koji se javljaju u procesu kavitacije: pojava nastajanja, rasta i implozije (urušavanja) parnih ili paro-gasnih mehura u tečnosti koja struji; pojava visokih temperatura i pritisaka u vrlo kratkom vremenskom intervalu; stvaranje udarnih talasa i mikromlazeva pri urušavanju mehura, sa energijom koja se rasipa unutar tečnosti ili je apsorbuje čvrsta površina sa kojom je tečnost u kontaktu; pojava elastične, plastične deformacije ili razaranja materijala pod dejstvom kavitacije [24-30]. Analizom nastalih promena površine uzoraka, u kratkom vremenskom periodu (nekoliko časova), određen je mehanizam oštećenja pod dejstvom kavitacije, pre svega promene u ranom periodu dejstva kavitacije na osnovu kojih može da se prognozira dalji tok

oštećenja materijala i da se proceni mogućnost primene za date uslove eksploatacije [31,32].

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za sintezu uzoraka livenog bazalta, (oznaka: LB) korišćene su izdrobljene bazaltene stene iz ležišta Vrelo Kopaonik, sastava (mas.%): 56,21% SiO<sub>2</sub>; 18,61% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,15% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2,97% FeO; 3,40% MgO; 7,78% CaO; 4,73% Na<sub>2</sub>O; 3,37% K<sub>2</sub>O; 1,11% TiO<sub>2</sub>. Bazaltni agregat je topljen na temperaturi 1250°C. U pešćane kalupe, liveni su odlivci oblika ploče, dimenzija (200x150x15) mm iz kojih su kasnije sećeni uzorci za ispitivanja na dejstvo kavitacije dimenzija (15x15x15) mm. Odlivci su termički tretirani u cilju smanjenja unutrašnjih napreznja, po režimu: odgrevanje na temperaturi 850°C/2h, postupno hlađenje u peći do sobne temperature. Za ispitivanje, bazalt je izabran zahvaljujući svojim svojstvima: gustina 2460-2960 kg/m<sup>3</sup>; temperatura topljenja 1300-1400°C; tvrdoća po Mosovoj skali 6,5-7; visoka čvrstoća na pritisak 80MPa; visoka otpornost na habanje; ne upija vlagu; visoka otpornost na mraz, kiseline i baze; netoksičan je.

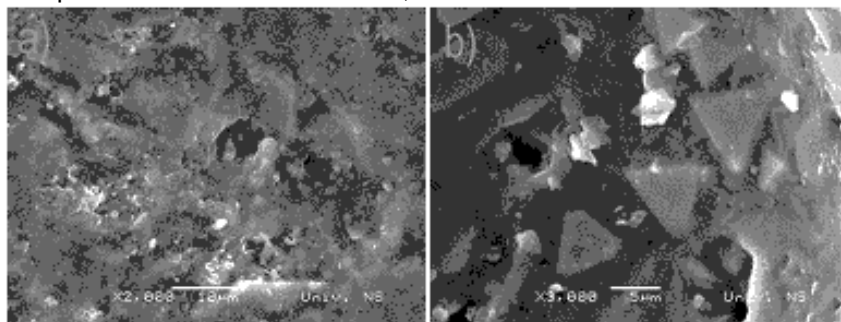


Slika 1. Rendgenski difraktogrami praha uzoraka: a) rovni bazalt b) liveni bazalt

Figure 1. XRD pattern of powder samples: a) raw basalt; b) cast basalt

Za identifikaciju faznog sastava i strukture metode rendgenske difrakcione analize (korišćen je dobijenih uzoraka livenog bazalta primenjene su rendgenski difraktometar PHILIPS, model PW-

1710) i metode mikroskopske analize primenom elektronskog mikroskopa JOEL JSM -6390LV. Mineralni sastav i mikrostruktura polaznih bazaltnih stena (sirovi bazalt) i livenog bazalta prikazani su na slikama 1 i 2. Najzastupljeniji minerali u sirovom bazaltu su bazični plagioklasi, dok su pirokseni (augit) i olivini manje prisutni, slika 1a. U livenom uzorku najzastupljeniji su pirokseni, zatim olivini, a plagioklasi su delimično amorfizovani, slika 1b. Stena je izgrađena od mikrokristalastog plagioklasa. U strukturi prisutni fenokristali su olivini,



Slika 2. SEM mikrofotografije uzoraka bazalta: a) rovni bazalt; b) liveni bazalt

Figure 2. SEM microphotography of basalt samples: a) raw basalt; b) cast basalt

Otpornost na dejstvo kavitacije ispitivanih uzoraka određena je primenom ultrazvučne vibracione metode (sa stacionarnim uzorkom) prema standardu ASTM G-32 [30] i proceduri opisanoj u ranijim radovima [24,26]. Karakteristični parametri za ovu metodu izabrani su u skladu sa standardom:

- frekvencija mehaničkih vibracija:  $20 \pm 0,2 \text{ kHz}$ ;
- amplituda na vrhu koncentratora:  $50 \mu\text{m}$ ;
- rastojanje između testiranog uzorka i koncentratora:  $0,5 \text{ mm}$ ;
- temperatura vode u kupatilu:  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ;
- protok vode:  $5\text{-}10 \text{ ml/s}$ .

Pri ispitivanju praćena je promena mase uzorka u funkciji vremena delovanja kavitacije. Izabrano vreme ispitivanja uzoraka (min): 15; 30; 60; 120. Određena je kavitaciona brzina i stepen oštećenja površine ispitivanih uzoraka. Da bi se odredila otpornost površine uzoraka na dejstvo kavitacije ispitane su površine uzoraka pre i za vreme testiranja. Morfologija oštećenih površina analizirana je skenirajućim elektronskim mikroskopom. Sofverska analiza površine uzoraka urađena je u programu Image Pro Plus. Rezultati analize su omogućili sagledavanje mehanizma razaranja površine uzoraka kroz praćenje sledećih pokazatelja oštećenja tokom vremena delovanja procesa kavitacije: nivo degradacije površine uzoraka,  $P/P_0$ , % (pri čemu vrednost  $P_0$  se odnosi na referentnu računsku površinu bez pojave oštećenja, a vrednost  $P$

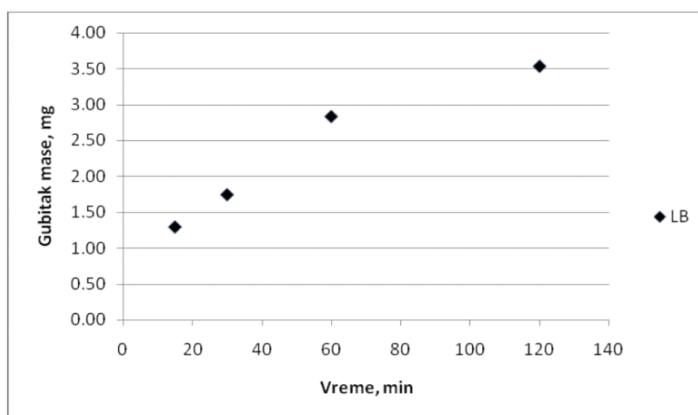
rombični pirokseni i ređe bazični plagioklasi. Prisutni su i manji gasni mehurovi, slika 2a. Struktura livenog bazalta je nehomogena, sastavljena od različitih agregata između kojih se vidi jasna granica, slika 2b. Pojedini kristali u kriptokristalostaklastoj osnovi bazalta su termički izmenjeni. Prisutni gasni mehurovi su uklopljeni u kriptokristalostaklastu osnovu i većih su dimenzija u odnosu na gasne mehurove prisutne u sirovom bazaltu.

predstavlja oštećenja na površini uzorka nastala tokom testiranja); broj formiranih jamica na površini uzorka,  $N_p$ ; srednja površina formiranih jamica  $P_{av}$ ,  $\text{mm}^2$ . Ponašanje ispitivanih uzoraka livenog bazalta pod dejstvom kavitacije analizirano je na osnovu korelacije dobijenih rezultata ispitivanja sa strukturom i svojstvima bazalta. Svi dobijeni rezultati oštećenja površine uzoraka pod dejstvom kavitacije ilustrovani su dijagramima.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

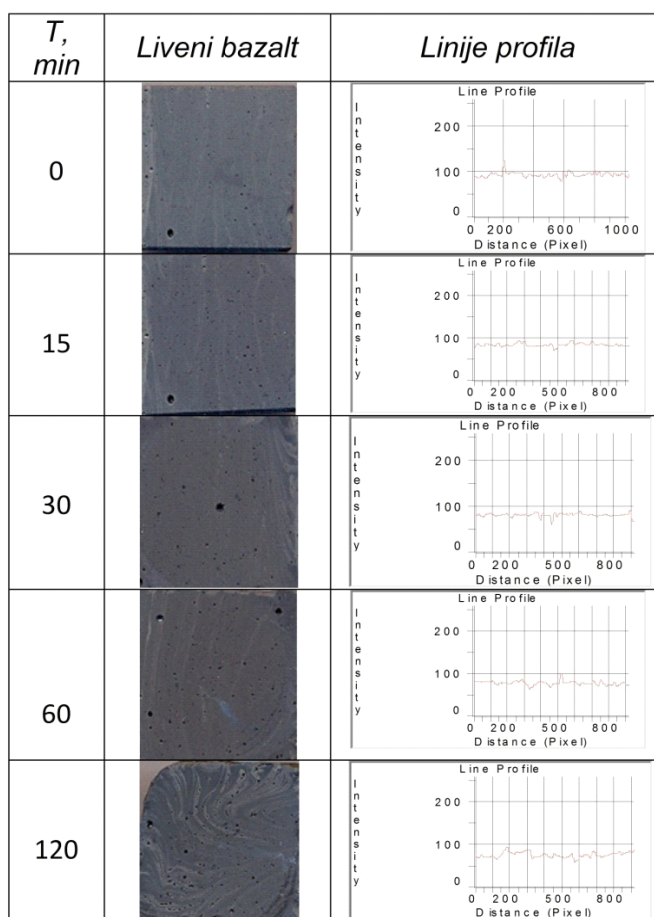
Tokom ispitivanja meren je gubitak mase uzoraka pod dejstvom kavitacije u funkciji vremena ispitivanja, prikazano na slici 3. Gubitak mase nastao kavitacionim oštećenjem nanosi se na ordinatu a vremenski intervali prikazani su na apscisi. Rezultati pokazuju da uzorci livenog bazalta imaju visok stepen kavitacione otpornosti sa kavitacionom brzinom  $0.0294 \text{ mg/min}$ .

U toku ispitivanja praćene su promene mehura sadržanih u osnovi bazalta, kao i promene prisutnih jamica na površini uzoraka. Uzorci su fotografisani pre i posle ispitivanja na dejstvo kavitacije, slika 4. Konstatovano je da se na površini uzoraka pod dejstvom kavitacije javljaju manja oštećenja i da gotovo ne dolazi do promene dimenzija jamica koje su postojale pre testiranja. Linije profila uzoraka su ravnomerne. Pojedinačni pikovi prisutni su na istim mestima na površini uzoraka, gde su identifikovane jamice pre početka testiranja.



Slika 3. Gubitak mase uzoraka livenog bazalta tokom ispitivanja na dejstvo kavitacije

Figure 3. Mass loss of cast basalt sample during the cavitation erosion testing

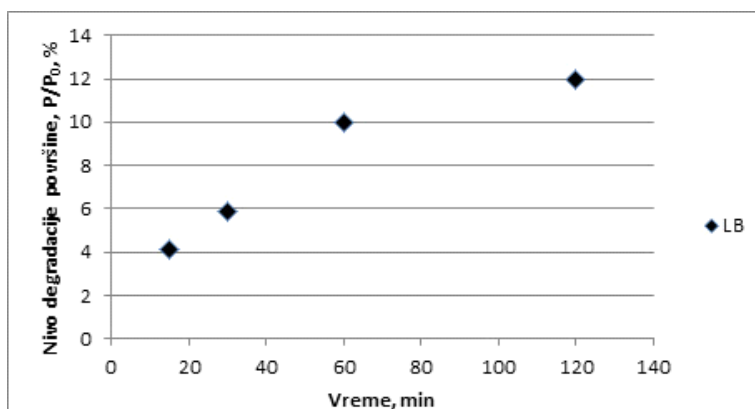


Slika 4. Fotografije površine uzoraka livenog bazalta pre i tokom vremena ispitivanja na dejstvo kavitacije sa odgovarajućim linijama profila dobijenih softverskom analizom slike

Figure 4. Photographs of the surface of cast basalt sample before and during the cavitation erosion testing with the corresponding profiles obtained by software image analysis

Promene i oštećenja na površini uzoraka tokom vremena testiranja praćene su softverskom anali-

zom slike u programu Image Pro Plus, prikazano na slici 5.

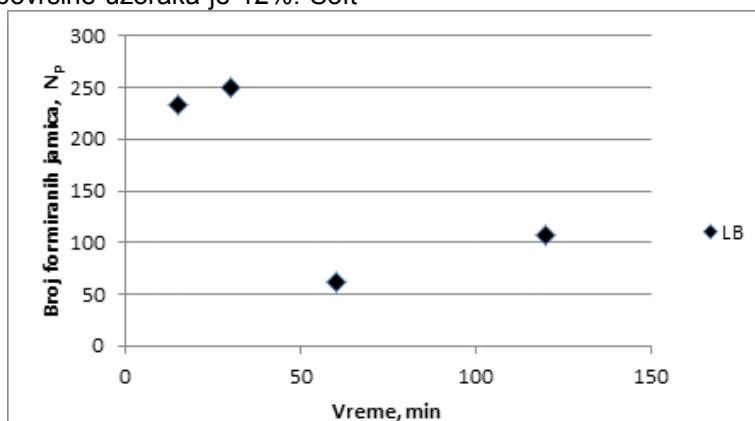


Slika 5. Nivo degradacije površine uzoraka livenog bazalta tokom ispitivanja na dejstvo kavitacije

Figure 5. Surface degradation level of cast basalt samples during the cavitation erosion testing

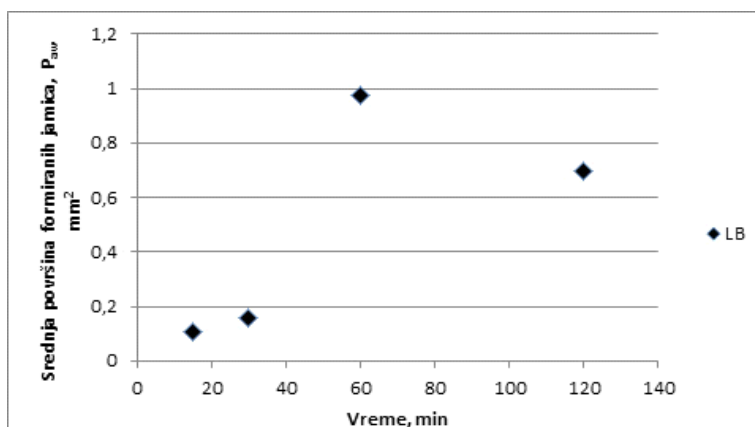
Na površini uzoraka vide se male promene, sa manjim brojem prisutnih jamica. To odgovara rezultatima postepenog gubitka mase uzoraka, prikazanim na slici 3. Na kraju vremena testiranja, tokom 120 min, oštećenje površine uzoraka je 12%. Soft-

verskom analizom slike određen je broj formiranih jamica na površini uzoraka tokom vremena testiranja i srednja površina formiranih jamica, slike 6 i 7, respektivno.



Slika 6. Broj formiranih jamica tokom ispitivanja na dejstvo kavitacije

Figure 6. Number of formed pits during the cavitation erosion testing



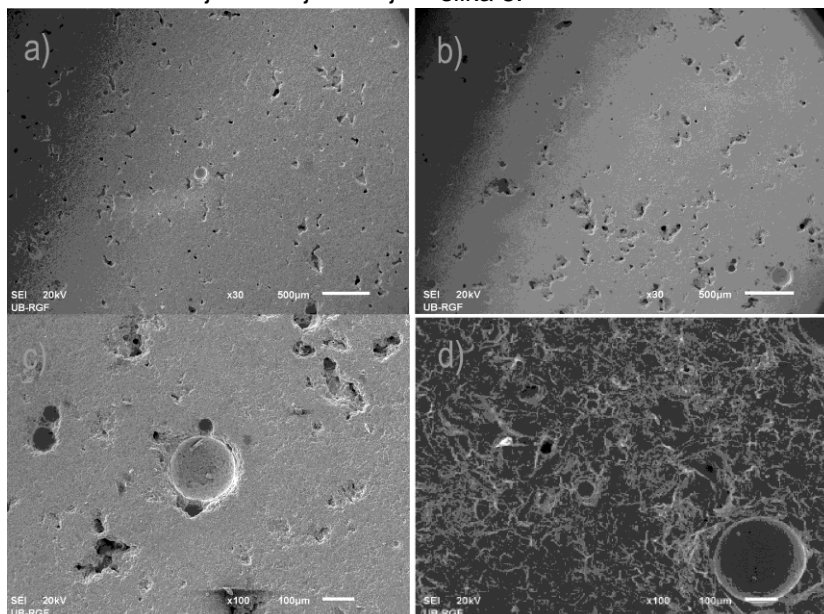
Slika 7. Srednja površina formiranih jamica tokom ispitivanja na dejstvo kavitacije

Figure 7. Average area of the formed pits during the cavitation erosion testing

Na površini uzoraka tokom 30 i 60 min testiranja ne uočavaju se nikakve promene izazvane delovanjem kavitacije. Do 30 min formira se mali broj sitnih jamica na površini, do 60 min broj jamica naglo opada, najverovatnije usled njihovog međusobnog spajanja, slika 6. To odgovara povećanju srednje površine formiranih jamica, slika 7. Od 60-120 min ekspozicije blago se povećava broj formiranih novih jamica, slika 6, pri čemu postepeno raste srednja površina formiranih jamica, slika 7. Analiza slike uzoraka livenog bazalta pokazuje da postojeće jamice, nastale najverovatnije zbog prisutnih mehura u strukturi, ne menjaju svoj oblik i dimenzije što se vidi na površinama uzoraka tokom testiranja, slika 4. Usled kavitacije nastaje manji

broj sitnih jamica na površini uzorka koji malo oštećuju površinu uzoraka, tako da je nakon 120 min ekspozicije nivo oštećenja površine ispod 12%, slika 5.

Mehanizam formiranja i rasta jamica na površini uzoraka pod dejstvom kavitacije praćen je analizom slike, počev od ranog perioda procesa kavitacije, nakon 15 min ekspozicije pa do kraja testiranja od 120min. Utvrđeno je da se površina uzoraka veoma malo menja, sitne jamice nastale nakon 30 min delovanja kavitacije malo su menjale oblik i dimenzije do kraja testiranja. Promena morfologije površine uzoraka sa vremenom ispitivanja praćena je primenom skenirajuće elektronske mikroskopije, slika 8.



*Slika 8. SEM mikrofotografije deformisanih površina uzoraka livenog bazalta sa različitim vremenima dejstva kavitacije: a) 15 min; b) 30 min; c) 60 min; d) 120 min*

*Figure 8. SEM microphotographies of the deformed surfaces of the cast basalt sample with different cavitation effects: a) 15 min; b) 30 min; c) 60 min; d) 120 min*

Pod dejstvom kavitacije u vremenu od 15 min nije došlo do promena na površini uzoraka. Prisutne su već postojeće jamice nastale od gasnih mehurova u kristalnoj osnovi bazalta (slika 8a). Ekspozicijom od 30 min takođe se ne javljaju promene na površini uzoraka. Vidi se da su postojeći mehuri u kriptokristalnoj strukturi uzoraka ispunjeni staklastom masom, tokom testa nisu menjali dimenzije i oblik, slika 8b. Daljim delovanjem kavitacije u trajanju 60 min došlo je do malih promena površine jamica ispunjenih staklastom masom, slika 8c. Na kraju testiranja, 120 min konstatovana je manja deformacija jamice u blizini postojećeg mehura u osnovi bazalta, slika 8d.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu su istraživani efekti primene ultrazvučne vibracione metode za određivanje kavitacionih oštećenja bazalta. Cilj je bio utvrđivanje mogućnosti primene vatrostalnih materijala na bazi bazalta za dobijanje konstrukcionih elemenata opreme u metalurgiji i rudarstvu koji su u radu izloženi visokim kavitacionim opterećenjima. Analiza gubitka mase i progresije deformacije površine uzoraka tokom delovanja procesa kavitacije pokazala je visoku otpornost na dejstvo kavitacije ispitivanih uzoraka. Gubitak mase je mali, u prvih 15 min gubitak mase je 1.29 mg i blago se povećava do gubitka mase od 3.53 mg za 120min ekspozicije, sa kavitacionom brzinom 0.0294

mg/min i ukupnim oštećenjem površine uzoraka 12%. Visoka otpornost na dejstvo kavitacije uzoraka livenog bazalta može da se tumači kompaktnom strukturom dobijenih livenih uzoraka, sa staklastom i fluidnom teksturom, veoma velike tvrdoće.

Promena morfologije površine uzoraka praćena skenirajućom elektronskom mikroskopijom pokazala je da oštećenja površine uzoraka livenog bazalta započinju pojavom sitnih jamica na površini tek nakon 30min ekspozicije, a daljim tokom ispitivanja jamice veoma malo menjaju oblik i dimenzije do kraja testiranja. Pri dužem delovanju kavitacije (120 min), dolazi do blagog povećanja oštećenja površine jamica formiranih u blizini mehura prisutnih u osnovi bazalta. Povećanje oštećenja površina prisutnih mehura tokom kavitacije nije konstatovano. Istraživanja su pokazala da procesi dobijanja uzoraka bazalta veoma utiču na otpornost na dejstvo kavitacije posebno procesi termičkog tretmana koji eliminišu unutrašnja naprezanja i smanjuju krtoš uzoraka. Pokazano je da uzorci dobijeni livenjem olivin-piroksenskog bazalta iz ispitivanog ležišta mogu da se primene u uslovima u kojima se očekuju visoka kavitaciona opterećenja.

#### Zahvalnica

*Rezultati ovih istraživanja finansirani su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, a deo su projekata TR 35002 i 34006 na čemu se autori zahvaljuju.*

#### 5. LITERATURA

- [1] G.H.Beall, H.L.Rittler (1976) Basalt glass ceramics, Am Ceram Soc Bull, 55 (6), 579–582.
- [2] T.F.Barth (1952) Theoretical petrology, John Wiley and Sons Inc., New York-London.
- [3] D.Cikara, A.Todic, D.Cikara-Anic (2010) Possibilities od Production of Wear Resistant Construction Elements by Processing of Serbian Basalt, FME Trans., 38, 203-207.
- [4] M.Cocic, M.Logar, B.Matovic, V.Poharc- Logar (2010) Glass-Ceramics Obtained by the Crystallization of Basalt, Sci. Sinter., 42, 383-388,
- [5] C. Parmelee (1986) Ceramic Glasses, M. Deker, Chicago.
- [6] G.A.Khater, A.Abdel-Motelib, A.W.El Manawi, M.O. Abu Safiah (2001) Glass-ceramics materials from basaltic rocks and some industrial waste, J Non-Crystal. Solids 358, 1128-1134.
- [7] A.Prstic, R.Simic, Lj.Andric, Z.Acimovic (2002) Melting and casting of the basalt ore, Mineral Processing in 21<sup>st</sup> Century –X Balkan Mineral Processing Congress, Varna, Bulgaria, Proceedings, p. 893-897.
- [8] W.D.Kingery, H.K.Bowen, D.R.Uhman (1976) Introduction to Ceramics, a Wiley – Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [9] A.Prstic, Z.Acimovic-Pavlovic, M.Cosic, Lj.Andric, Z.Acimovic (2005) Application of casting materials based basalt ore in metallurgy and mining industry, XI Balkan Mineral Processing Congress, Tirana, Albania, Proceedings, p.422 – 425.
- [10] Lj.Kostić–Gvozdinović, R.Ninković (1997) Neorganska hemijska tehnologija, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd.
- [11] A.Prstic, Z.Acimovic, A.Terzic, Lj.Pavlovic, Z. Tanaskovic (2012) The application of basalt in civil engineering, 4<sup>th</sup> International Conference GNP 2012 Civil Engineering- Science and Practice, Žabljak, Montenegro, Proceedings, p.125.
- [12] M.Pavlović, M.Sarvan, F.Klisura, Z.Acimović (2016) Bazalt kao sirovina za izradu agregata za savremene kolovozne zastore i zastore brzih pruga, 4<sup>th</sup> Conference Maintenance 2016, Zenica, BiH, Proceedings, p. 175-183.
- [13] R.Simic, N.Gilic (2000) Application possibilities of basalt lining from Vrelo deposit near Lukovska banja in cement industry's mills, Conference Rock, Arandelovac, Serbia, Proceedings, p. 150-155.
- [14] R.Simic, A.Prstic, N.Gilic (2002) Technical and economical base for building capacities for obtained casting products from basalt ore in Serbia, Conference Cement, Struga-Macedonia, Proceedings, p.156 – 160.
- [15] S.Marica (2004) Quaternary basalts from Romania-Characteristics and non-conventional uses, 10<sup>th</sup> International Congress, Thessaloniki, Greece, Bulletin of the Geological Society of Greece, 36, Proceedings, p.104-108.
- [16] Z.Acimovic, Lj.Andric, V.Milosevic, S.Milićević (2012) Wear - resistance basalt products for application in mining industry, IX Symposium Metals and Nonmetals, Zenica, B&H, Proceedings, p. 150-155.
- [17] S.Yilmaz, G.Bayrak, S.Sen, U.Sen (2006) Structural characterization of basalt-based glass-ceramic coatings, Mater. Des., 27, 1092–1096.
- [18] A.Karamanov, S.Ergul, M.Akyildiz, M.Pelino (2008) Sinter-crystallization of a glass obtained from basaltic tuffs, J Non-Cryst Solids 354, 290–295.
- [19] V.Fiore, G.Di Bella, A.Valenza (2011) Glass-basalt/epoxy hybrid composites for marine applications, Mater. Des., 32, 2091–9.
- [20] M.T.Dehkordi, H.Nosraty, M.M.Shokrieh, G.Minak, D.Ghelli (2010) Low velocity impact properties of intra-ply hybrid composites based on basalt and nylon woven fabrics, Mater. Des., 31, 3835–44.
- [21] A.Todic, B.Nedeljkovic, D.Cikara, I.Ristovic (2011) Particulate basalt– polymer composites characteristics investigation, Mater. Des., 32, 1677–1683.
- [22] M.Pavlović, M.Duricic, A.Mumdic (2015) Basalt application prospects for touristic facilities

- furnishing, SED 2015, Uzice, Serbia, Proceedings, p.-53-60.
- [23] Lj.Andric, Z.Acimovic-Pavlovic, M.Trumic, A.Prstic, Z.Tanaskovic (2012) Specific characteristic of coating glazes based on basalt, Mater. Des., 33, 9-13.
- [24] M.Dojčinović (2013) Razaranje materijala pod dejstvom kavitacije, Monografija, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd, str.99,
- [25] J.P.Franc, J.M.Michel (Eds) (2004) Fundamentals of cavitation, Series Fluid Mechanics and Its Applications, Kluwer Academic Publiser, New York, p.306.
- [26] M.Dojcinovic, S.Markovic (2006) The morphology of cavitation damage of heat treated medium carbon steel, J.Serb.Chem.Soc., 71 (8-9), 997-984.
- [27] G.García-Atance Fatjó, M.Hadfield, K.Tabeshfar (2011) Early stage cavitation erosion within ceramics- An experimental investigation, Ceram. Int., 37, 1919-1934.
- [28] M.Dular, B.Bachert, B.Stofferl, B.Širok (2004) Relationship beetwen cavitation structures and cavitation damage, Wear, 257, 1176-1184.
- [29] W.J.Tomlinson, S.J.Matthews (1994) Cavitation erosion of structural ceramics, Ceramic International, 20 (3), 201-209.
- [30] Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test, G32-92. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02. Philadelphia: ASTM; 1992.
- [31] Image Pro Plus, The Proven Solution for Image Analysis, Media Cybernetics, 1993.
- [32] A.F.Alturki, A.Abouel-Kasem, S.M.Ahmed (2012) Characteristics of Cavitation Erosion Using Image Processing Techniques, Journal of Tribology, 135(1),1450-1456.

## ABSTRACT

### FORMATION AND DEVELOPMENT OF DAMAGE OF BASALT UNDER THE EFFECT OF CAVITATION

*The paper examines the cavitation resistance of the cast basalt samples. Samples were obtained by melting, casting and thermal treatment of crushed basalt rocks from the Vrelo Kopaonik deposit. The experiment was conducted using an ultrasonic vibration method with a stationary sample according to the ASTM G-32 standard. To estimation the cavitation resistance, a change in the mass of the samples in the function of the cavitation time has been observed. The formation and development of damage under the effect of cavitation was monitored by an electron microscope, and the level of degradation of the sample surface was quantified using the image analysis. The results showed a high degree of cavitation resistance of cast basalt samples, with a cavitation rate of 0.0294 mg/min. This indicates the possibility of their application for the production of particular structural parts of equipment for use in metallurgy, as a substitute for metallic materials.*

**Keywords:** basalt, cavitation damage, mass loss, image analysis.

*Scientific paper*

*Paper received: 28. 02. 2019.*

*Paper accepted: 08. 04. 2019.*

*Paper is available on the website: [www.idk.org.rs/journal](http://www.idk.org.rs/journal)*