

# „ RUDARSTVO 2019“

10. simpozijum sa međunarodnim učešćem

## *“MINING 2019“*

10st Symposium with international participation

# ZBORNİK RADOVA

*PROCEEDINGS*

Hotel „ Jezero “, Bor  
28. - 31. maj 2019.

ZBORNIK RADOVA / *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

*Tiraž / Copies*

200

## NAUČNI ODBOR

dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; dr Živko Sekulić, ITNMS, Beograd; dr Dragana Jelisavac Erdeljan, MRE R. Srbije; dr Zoran Stevanović, IRM Bor; prof. dr Jovica Sokolović, Tehnički fakultet, Bor; prof.dr Predrag Jovančić, RGF, Beograd; dr Vladimir Jovanović, ITNMS, Beograd; dr Nevad Ikanović, JP Elektroprivreda BiH; prof.dr Omer Musić, RGG fakultet, Tuzla; dr Zlatko Dragosavljević, rudnik GROT; prof.dr Ljubiša Andrić, ITNMS, Beograd; dr Svetomir Maksimović, Rudarski institut; dr Milenko Ljubojev, IRM Bor; dr Zajim Hrvat, JP Elektroprivreda BiH, dr Dragan Radulović, ITNMS, Beograd, prof. dr Miodrag Denić, Tehnički fakultet, Bor, dr Edin Lapandić, JP Elektroprivreda BiH; dr Miro Maksimović, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; prof. dr Radoje Pantović, Tehnički fakultet Bor; dr Rada Krgović, JP EPS, ogranak RB Kolubara; dr Slavica Mihajlović, ITNMS, Beograd; mr Šefik Sarajlić, RMU Đurđevik; dr Sonja Milićević, ITNMS, Beograd; dr Dimšo Milošević, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; mr Halid Čičkušić, ZDR „Kreka“, BiH, mr Žarko Nestorović, JPEPS, Ogranak HE Đerdap; dr Radiša Đurić, JP EPS, Ogranak TEKO Kostolac; dr Dragan Milanović, IRM Bor; dr Duško Đukanović, JP PEU, Resavica

## PROGRAMSKI ODBOR

dr Vladan Milošević, ITNMS, Beograd; dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; Miliša Jovanović, Elektromreža Srbije a.d.; Svetlana Duvnjak, NIS GASPROM NEFT; Slobodan Kokerić, JP PEU, Resavica; Tatjana Vojvodić, JP EPS, Ogranak TEKO Kostolac; Borivoje Stojadinović, IRM Bor; Vladimir Ivoš, JP EPS; Nenad Grubin, Rio Sava Exploration, ? , Zijin Bor Copper doo Bor, mr Jadranka Vukašinović, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; Ivan Filipov, Rudnik Kovin; Miloš Đokanović, Alumina Zvornik; R. Srpska Dragan Šejnjanović, JP EPS, Ogranak HE Đerdap; Marijana Sarić, JP EPS, Ogranak Drinsko–Limske hidroelektrane; Zorica Ivković, JP PEU, Resavica; Maja Grbić, Elektrotehnički institut Nikola Tesla; Marina Blagojev, ITNMS, Beograd

## SADRŽAJ / CONTENTS:

### Plenarna predavanja / Plenary Presentations

PROJEKT MENADŽMENT MODEL PK RADLJEVO/ <i>PROJECT MANAGEMENT MODEL PK RADLJEVO</i> <b>Vladimir Ivoš</b>	10
MONITORIG ODVODNJEVANJA LEŽIŠTA UGLJA RMU „SOKO“ – SOKOBANJA <i>MONITORIG OF THE DRAINAGE OF COAL DEPOSIT IN RMU „SOKO“ – SOKOBANJA</i> <b>Slobodan Kokerić, Marko Vuković, Marko Petrović</b>	19
CILJEVI I PROGRAMI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE U EMS AD / <i>ENVIRONMENTAL OBJECTIVES AND PROGRAMS IN EMS AD</i> <b>Miliša Jovanović, Sandra Petrović</b>	29
IZMENE TEHNOLOŠKOG POSTUPKA FLOTACIJSKE KONCENTRACIJE Pb-Zn RUDE "RUDNIKA GROT A.D." (BLAGODAT)- KRIVA FEJA (VRANJE)/ <i>MODIFICATIONS IN TECHNOLOGICAL PROCEEDINGS OF FLOTATION CONCENTRATION Pb-Zn ORE "MINE -GROT A.D." (BLAGODAT) THE KRIVA FEJA (VRANJE)</i> <b>Dragan S. Radulović, Dragan Đorđević, Ljubiša Andrić, Milan Petrov</b>	36
AKTIVNOSTI NA SMANJENJU EMISIJE GASOVA SA EFEKTOM STAKLENE BAŠTE <i>ACTIVITIES IN ORDER TO REDUCE GAS EMISSION WITH EFFECT OF GREENHOUSE</i> <b>Slavica R. Mihajlović, Marina S. Blagojev, Živko Sekulić</b>	49
RADIOEKOLOŠKA ISPITIVANJA NA PODRUČJU OPŠTINE LAZAREVAC <b>Branislava Mitrović</b>	56
 <b>Saopštenja / Contributions</b>	
TEHNOLOŠKI ASPEKTI ZAPUNJAVANJA OTKOPANIH PODZEMNIH PROSTORA <i>TEHNOLOGICAL ASPECTS FILLING THE CAVITIES UNDERGROUND SPACE</i> <b>Šefik Sarajlić, Omer Musić, Kemal Gutić, Halid Čičkušić, Dževad Dostović</b>	66
KATASTROFE NA VELIKIM BRANAMA/ <i>LARGE DAMS CATASTROPHIES</i> <b>Tihomir Milutinović, Milan Trifković, Goran Pejičić, Goran Marinković, Žarko Nestorović</b>	84
UTICAJ VISOKONAPONSKIH NADZEMNIH VODOVA EMS AD NA ŽIVOTNU SREDINU <i>THE INFLUENCE OF HIGH VOLTAGE OVERHEAD LINES EMS AD ON THE ENVIRONMENT</i> <b>Sandra Petrović, Saša Randelović</b>	90

<p>MONITORING FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ  <i>MONITORING OF TAILINGS RECLAMATION VELIKI KRIVELJ</i>  <b>Miomir Mikić, Radmila Marković, Suzana Stanković, Renata Kovačević, Dragana Božić, Tatjana Trujić Apostolovski</b></p>	98
<p>MIKRONIZIRAJUĆE MLEVENJE PIROFILITA-PARSOVIĆ-KONJIC (BiH)  <i>MICRONIZATION OF PYROPHYLLITE MILLING- PARSOVIĆ-KONJIC (BiH)</i>  <b>Ljubiša Andrić, Dragan Radulović, Muhamed Harbinja, Milan Petrov, Marija Marković, Jovica Stojanović, Marko Pavlović</b></p>	103
<p>METODOLOGIJA ZA PROCJENU ŠTETE U ŠUMSKIM KULTURAMA ZASNOVANIM NA RUDNIČKIM ODLAGALIŠTIMA / <i>METHODOLOGY FOR ASSESSMENT OF DAMAGE IN FOREST CULTURES CONSTRUCTION ON MINING LOANS</i>  <b>Miro Maksimović, Dimšo Milošević</b></p>	114
<p>LEŽIŠTE KARBONATNE SIROVINE (KREČNJAK I KREDA) SPASINE - BRĐANI KOD UGLJEVIKA  <i>DEPOSIT OF CARBONATES (LIMESTONE AND CHALK) SPASINE - BRDJANI NEAR UGLJEVIK</i>  <b>Jovana Ječmenica, Zlatko Ječmenica</b></p>	120
<p>EVALUACIJA MOTIVACIJE ZAPOSLENIH U RUDARSKIM KOMPANIJAMA SAVREMENIM METODAMA / <i>EVALUATION OF MOTIVATION OF EMPLOYEES IN MINING COMPANIES WITH ADVANCED METHODS</i>  <b>Slavica Miletić, Dejan Bogdanović, Miroslav Ignjatović, Zdenka Stanojević Šimšić, Vesna Conić</b></p>	127
<p>PROBLEM PRIKUPLJANJA I TRETMANA OTPADNIH ULJA U REPUBLICI SRBIJI  <b>Mile Stojilković</b></p>	136
<p>POVEĆANJE KVALITETA ODLIVNIH VODA IZRADOM DODATNIH KANALA U TALOŽNICI RUDNIKA UGLJA KOVIN / <i>INCREASING THE QUALITY OF OUTFLOW WATER BY CREATING ADDITIONAL CHANNELS IN THE KOVIN COAL MINE</i>  <b>Ivan Filipov</b></p>	144
<p>REKULTIVACIJA DEGRADIRANIH POVRŠINA RB KOLUBARA ENERGETSKIM BILJKAMA-MODEL UZGOJA PAULOVNIJE I OPLEMENJIVANJA BIO MASE PROCESOM TOREFIKACIJE  <i>RECLTIVATION OF DEGRADED SURFACES OF RB KOLUBARA USING ENERGY PLANTS - MODEL OF BREEDING PAULOWNIA AND BIOMASS REFINING USING TORREFACTION PROCESS</i>  <b>Jovan Milićević, Darja Lubarda</b></p>	152
<p>TEHNIČKO RJEŠENJE DOZIRANJA KOMADNOG KREČA NA STOKOVE U ZIMSKOM PERIODU U FABRICI GLINICE ALUMINA ZVORNIK  <b>Miloš Đokanović, Rajko Aleksić, Mile Tomić</b></p>	164

KONTROLA INDUSTRIJSKOG PROCESA SEPARACIJE UGLJA U RUDNIKU ANTRACITA "VRŠKA ČUKA" /CONTROL OF INDUSTRIAL PROCESS OF COAL SEPARATION IN ANTHRACITE COAL MINE "VRSKA CUKA"	169
<b>Jovica Sokolović, Dejan Čirić, Slobodan Mitić, Branislav Stakić, Vladimir Nikolić</b>	
MODEL UPRAVLJANJA PROCENOM RIZIKA PO ŽIVOTNU SREDINU U PROCESU IZVOĐENJA GEOLOŠKOG ISTRAŽNOG BUŠENJA	170
<b>Novica Staletović, M. Šljivić, A. Pavlović</b>	
MOGUĆNOST UNAPREĐENJA METODA OTKOPAVANJA NAGNUTIH I STRMIH UGLJENIH SLOJEVA U SLOŽENIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE	183
<b>Vladimir Todorović, Duško Đukanović, Branko Đukić, Zorica Ivković</b>	
ANALIZA TRENUTNOG STANJA RUDARSKIH RADOVA I PRIJEDLOG MJERA, RJEŠENJA I PREPORUKA ZA DOVOĐENJE U PROJEKTOVANO STANJE PK „VRTLIŠTE“ RMU „KAKANJ“ BIH <i>ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION OF MINING WORKS AND PROPOSAL OF MEASURES, SOLUTIONS AND RECOMMENDATIONS FOR BRINGING PK „VRTLIŠTE“ RMU „KAKANJ“ BIH TO THE PROJECTED STATE</i>	189
<b>Edin Lapandić, Nevad Ikanović</b>	
TEHNIČKA OCENA OPRAVDANOSTI INVESTIRANJA ZA NABAVKU OSNOVNE OTKOPNE MEHNIZACIJE I OCENA EFIKASNOSTI RADA BAGERA LIEBHERR U DISKONTINUALNIM SISTEMIMA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE KREČNJAKA / <i>TECHNICAL ASSESMENT OF INVESTMETN FOR THE PROCUREMENT OF BASIC EXCHANGE MECHANISAM AND ASSESMENT THE EFFICIENCY THE LIEBHERR BAGS IN DISCONTIUAL SURFACE EXPLOATING SYSTEMS OF LIMESTONE</i>	198
<b>Marko Lazić, Ivan Jelenić, Filip Miletić, Stevan Đenadić</b>	
INFORMACIONI SISTEMI U RUDARSTVU I ENERGETICI I NJIHOV ZNAČAJ ZA ODRŽIVI RAZVOJ <i>INFORMATION SYSTEMS IN MINING AND ENERGETICS AND ITS IMPORTANCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT</i>	215
<b>Žarko Nestorović, Jelena Lazić, Milan Nestorović</b>	
EKOLOŠKI RIZIK RUDARSKOG OTPADA/ <i>ECOLOGICAL RISK OF MINING WASTE DISPOSAL</i>	220
<b>Miomir Mikić, Radmilo Rajković, Milenko Jovanović, Branislav Rajković</b>	
POTENCIJAL HIDROELEKTRANA I NJIHOV POZITIVAN I NEGATIVAN UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU / <i>POTENTIAL OF HYDRO POWER PLANT AND THEIR POSITIVE AND NEGATIVE EFFECT ON ENVIRONMENT</i>	224
<b>Miomir Mikić, Milenko Jovanović, Radmilo Rajković, Daniela Urošević, Srđana Magdalinović</b>	
REVITALIZACIJA DEGRADIRANIH POVRŠINA NULTOG POLJA FJ VELIKI KRIVELJ <i>REVITALIZATION OF DEGRADED SURFACES BY NULTO POLJE OF FLOTATION TAILING VELIKI KRIVELJ</i>	232
<b>Miomir Mikić, Igor Svrkota, Branislav Rajković, Radmilo Rajković</b>	

UPRAVLJANJE HIDROENERGETSKIM POSTROJENJIMA SA ASPEKTA ODRŽIVOG RAZVOJA <i>MANAGMENT HYDROPOWER PLANTS WITH ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT</i> <b>Dragan Šejnjanović</b>	240
PROMENE AGROHEMIJSKIH PARAMETARA U POSTUPKU BIOLOŠKE REKULTIVACIJE DEPOSOLA POVRŠINSKIH KOPOVA EPS OGRANAK RB KOLUBARA <i>CHANGES OF AGROCHEMICAL PARAMETERS IN THE BIOLOGICAL REVOLUTION PROCEDURE OF THE SURFACE FOUNDATION DEPOSIT EPS MB KOLUBARA</i> <b>Jadranka Vukašinić, Gordana Đikić</b>	250
UTICAJ VIŠEGODIŠNJE BIOLOŠKE REKULTIVACIJE NA PRINOS RATARSKIH KULTURA GAJENIH NA DEPOSOLIMA POVRŠINSKIH KOPOVA RB „KOLUBARA“ <i>THE IMPACT OF MULTI-ANNUAL BIOLOGICAL RECVLTIVATION AT THE YIELD OF RATED CULTURES ASKED ON DEPOSITS OF SURFACE FAIRS OF MB "KOLUBARA"</i> <b>Gordana Đikić, Jadranka Vukašinić</b>	257

# MIKRONIZIRAJUĆE MLEVENJE PIROFILITA-PARSOVIĆ-KONJIC (BiH)

## MICRONIZATION OF PYROPHYLLITE MILLING- PARSOVIĆ-KONJIC (BiH)

Ljubiša Andrić<sup>1</sup>, Dragan Radulović<sup>1</sup>, Muhamed Harbinja<sup>2</sup>,  
Milan Petrov<sup>1</sup>, Marija Marković<sup>1</sup>, Jovica Stojanović<sup>1</sup>, Marko Pavlović<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina,  
Beograd, <sup>2</sup> AD HARBI d.o.o., Sarajevo, Bosna i Hercegovina

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

### IZVOD

Mikronizacija pirofilita je veliki tehnološko-tehnički problem, iz razloga što klasične mašine za usitnjavanje, ne mogu, svojim procesnim uslovima, da ga mikroniziraju do finog i posebno veoma finog granulometrijskog sastava, koji je neophodan za nove savremene domene industrijske primene. Iz ovih razloga, neophodno je dobro poznavanje njihovih fizičko-hemijskih, mineraloških, mehaničkih osobina, i posebno mehanizama procesa njihovog finog usitnjavanja (mikronizacije). Detaljnim istraživanjima kinetike mikronizirajućeg mlevenja pirofilita, dobijeni su elementi za određivanje efikasnosti rada vibracionih i ultra-centrifugalnih mlinova, a samim tim stečeni su uslovi za definisanje kako tehnoloških parametara mikronizacije, tako i parametara proizvoda mikronizacije. U isto vreme, na osnovu detaljne fizičko-hemijske, mineraloške i rentgenske karakterizacije mikroniziranih proizvoda pirofilita, uočene su određene fizičko-hemijske promene u njihovoj strukturi (prelaz pirofilita u amorfnu stanje), što je sigurno posledica rada pomenutih mlinova.

**Ključne reči:** pirofilit, mikronizirajuće mlevenje, vibracioni i ultra centrifugalni mlin, srednji prečnik zrna, specifična površina.

### ABSTRACT

Micronization of pyrophyllite represents significant technical and technological problem due to inadequate capabilities of classical grinding equipment to provide fine and very fine particle size, which is prerequisite for new domains of industrial applications. Therefore, it is very important to be completely acquainted with the chemical and mineralogical composition, physical and mechanical properties and specifically with the mechanism of its comminution (micronization). Detailed investigation of the micronizing grinding kinetics of pyrophyllite provided the basic elements for resolving the operational efficiency of vibratory and ultra centrifugal mills, enabling determination of technological parameters for micronization as well as characteristics of final products. At the same time, based on detailed physical, chemical, mineralogical and X-ray characterization of micronized pyrophyllite products, specific physical-chemical changes in their structure (transformation of pyrophyllite into amorphous state) was noticed, which is definitively the results of the operation of declared mills.

**Key words:** pyrophyllite, micronization grinding, vibratory and ultra centrifugal mill, mean particle diameter, particle size, specific surface.



## UVOD

Definisanje i dobijanje upotrebnih kvaliteta nemetaličnih mineralnih sirovina predstavlja proces koji je veoma složen i traži verifikaciju ne samo proizvoda iz procesa pripreme i prerade prirodnih sirovina, već i verifikaciju u svojstvima finalnog materijala za čiju sintezu se koriste. Danas, posebno se traže fino samlevene (fino i veoma fino mikronizirane) mineralne sirovine, koje se, uopšte gledano, koriste kao punila za mase u sintezi novih materijala (kompoziti) i kao premazi, [1]. Na osnovu fundamentalnih i razvojnih istraživanja procesa mikronizirajućeg mlevenja nemetaličnih mineralnih sirovina u cilju dobijanja punila za sintezu novih industrijskih materijala, razvijen je veći broj novih konstrukcionih rešenja mlinova za mlevenje i mikronizaciju kao što su: planetarni, vibracioni, ultra-centrifugalni, atricioni, Jet i dr. Razvoj ovog tipa opreme je važan za optimizaciju procesa mikronizacije i mehaničke aktivacije punila obzirom na strogo definisane njihove fizičko-mehaničke, fizičko-hemijske i mineraloške karakteristike, jer svaka, makar i neznatna promena ovih karakteristika može imati negativan uticaj na kvalitet mikroniziranih proizvoda. Savremena istraživanja i razvoj novih materijala primarno zavise od zaliha sirovina koje se svakim danom sve više iscrpljuju. Imajući ovo kao opštu informaciju očigledno je da razvoju novih materijala predhodi dobijanje kvalitetnih sirovina, a takođe i korišćenje sekundarnih sirovina, što ima i veoma važan ekološki značaj, s obzirom na efikasniju zaštitu čovekove okoline od industrijskih otpadaka. Poštujući ovakvu proceduru kod korišćenja raspoloživog resursa industrijskih minerala (nemetaličnih mineralnih sirovina kakav je zasigurno **pirofilit**), otvaraju se neograničene mogućnosti za razvoj mnogih i malih kapaciteta, nezavisnih od velikih svetskih strateških partnera. Na taj način postigla bi se fleksibilna i veoma profitabilna proizvodnja sposobna da se prilagođava stalnim promenama u finalnoj proizvodnji, [2-4].

## PROCES SUVE MIKRONIZACIJE

Priprema mineralnih sirovina, uglavnom nemetala, u većini slučajeva zahteva suvo mikronizirajuće mlevenje i klasiranje mikronizirane mineralne sirovine u jednu ili više klasa krupnoće. Način mikronizirajućeg mlevenja mineralnih sirovina zavisi od usvojenog tehnološkog procesa pripreme, t.j. da li se priprema mineralne sirovine vrši mokrim ili suvim postupkom. Isto tako važan je i način primene mineralne sirovine u industriji, t.j. da li se ista primenjuje u suvom stanju. Poslednjih nekoliko godina postavlja se zahtev da nemetalične mineralne sirovine budu pripremljene u suvom stanju. Nemetalične mineralne sirovine (pirofilit i dr.) u većini slučajeva treba da se mikroniziraju do finoće 100% -60  $\mu\text{m}$  u pojedinim slučajevima 100% -45  $\mu\text{m}$ , a da pri tome udeo sitnih čestica ispod 10  $\mu\text{m}$ , treba da bude što veći (40-60 %). Poslednjih nekoliko godina pojedine industrijske grane zahtevaju finoću mikroniziranog proizvoda oko 90% ispod 10  $\mu\text{m}$ , sa određenim udelom sitnih čestica od 1, 2, 3, 5 i 7  $\mu\text{m}$ . Prilikom mikronizirajućeg mlevenja, posebna pažnja se poklanja sledećim osnovnim parametrima kvaliteta proizvoda: procentualnom sadržaju pojedinih klasa krupnoće, specifičnoj površini, srednjem prečniku čestice i hemijskim i

mineraloškim karakteristikama. Pored krupnoće, kao osnovnog parametra kvaliteta proizvoda mikronizirajućeg mlevenja, neophodno je spomenuti i ostale veoma važne parametre: zapreminsku masu, homogenizaciju sposobnost lebdenja, površinsku aktivnost, oblik čestica, itd. Navedeni parametri kvaliteta proizvoda mikronizirajućeg mlevenja zavise od fizičko-mehaničkih, hemijskih i mineraloških osobina polaznih sirovina, kao što su: struktura, tekstura, otpornost, plastičnost, trošnost, tvrdina, abrazivnost, šupljikavost, elastičnost, lepljivost i sl. Sam proces mikronizirajućeg mlevenja mineralnih sirovina nije prost proces. Sa procesno-tehničkim razvojem mlevenja poslednjih godina, proces mikronizacije se veoma ozbiljno i teorijski izučava, [5-13].

## PRIMENA PIROFILITA

Nemetalična mineralna sirovina, kao što je **pirofililit** ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ) zauzima značajno mesto u privrednom razvoju, bilo da služi kao finalni proizvodi ili kao sirovina kod proizvodnje različitih materijala namenjenih prerađivačkoj i drugim industrijskim granama. Skoro da ne postoje privredne grane koje ne koriste pirofililit-industrija vatrostatnih materijala, građevinarstvo, poljoprivreda, a u novije vreme primenjuje se u tehnologijama za zaštitu životne sredine. Pored nabrojanih industrija, mikronizirani pirofililit najčešće se koristi u industriji: papira, plastičnih masa, farmaceutike i kozmetike, aditiva, inhibitora korozije i dr.

## METODE ISPITIVANJA

Izbor načina suvog mikronizirajućeg mlevenja i pripreme određuje se prema svojstvima mineralnih sirovina, traženom stepenu finoće i ostalim zahtevima kao što su: specifični utrošak energije, utrošak metala, sigurnost u radu i najmanji troškovi pri posluživanju. U procesu suvog mikronizirajućeg mlevenja, a naročito finog mikronizirajućeg mlevenja, određivanje utroška energije je veoma komplikovano. Stoga u poslednje vreme za izbor opreme koja se primenjuje za suvo mikronizirajuće mlevenje nemetaličnih mineralnih sirovina, pored standardnih konvencionalnih mlinova (metalni, keramički), najširu primenu su našli ultracentrifugalni sa perifernom putanjom usitnjavanja, vibracioni, planetarni, atricioni i strujni (Jeto-mizer) mlinovi, [14].

## REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Sva eksperimentalna istraživanja mikronizirajućeg mlevenja pirofilita vršena su na rovnom uzorku (ležište Parsović), primenom savremenih metoda za određivanje svih neophodnih fizičko-hemijskih i mineraloških karakteristika mikroniziranih proizvoda pirofilita, kao i za praćenje relevantnih procesnih parametara Polazni uzorak je homogeniziran i iz njega su izdvojeni uzorci za određivanje: granulometrijskog i hemijskog sastava rude, XRD i SEM-analize, [5]. U ovim istraživanjima suvog mikronizirajućeg mlevenja pirofilita, korišćeni su vibracioni i ultracentrifugalni mlin sa perifernom putanjom usitnjavanja.

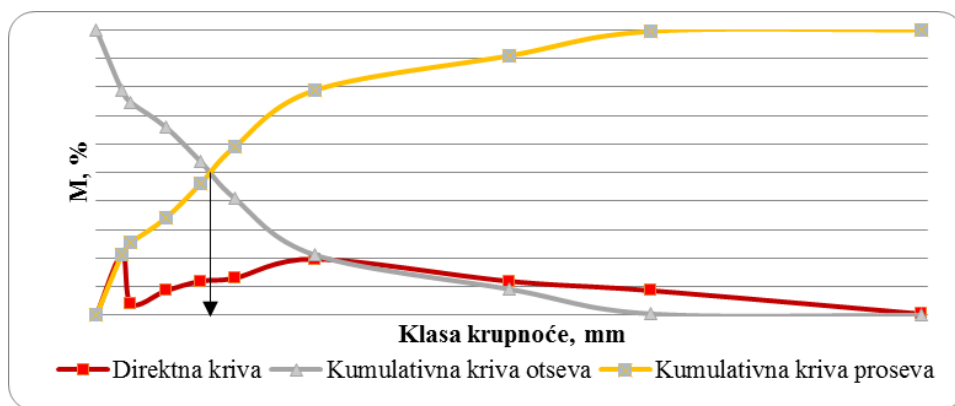
## Fizička, hemijska i mineraloška svojstva rovnog uzorka pirofilita

Ležište pirofilitnog škriljca Parsovići, Konjic, smešteno je oko 25 km SZ od Konjica, povezano je asfaltom na magistralni put Sarajevo - Mostar, dužine 14 km. Ležište Parsovići nalazi se na brdsko planinskom području koje predstavlja JZ ogranak, a nadmorska visina područja, na kome se nalazi ležište pirofilita, kreće se između 350 i 600 metara. Overene rudne rezerve pirofilitnog škriljca ležišta "Parsovići-Konjic" iznose 18.000.000 t. Postojanje potencijalne sirovinke baze, odnosno postojanje pirofilita sa značajnim količinama (Parsovići-Konjic) u BiH pruža široke mogućnosti razvoja proizvodnje sa bogatim asortimanom proizvoda. Po raspoloživim količinama, pirofilit predstavlja jednu od najznačajnijih prirodnih nemetalnih mineralnih sirovina u BiH, [15-22].

**Granulometrijski sastav:** Zbog strukturno-teksturnih osobina polazni uzorak rude pirofilita je usitnjen za dalja tehnološka ispitivanja na krupnoću 100% -2 mm. Ovako pripremljen uzorak rude pirofilita predstavlja polazni uzorak za opite mikronizirajućeg mlevenja. Tabelarni i grafički prikaz, rezultata granulometrijskog sastava polaznog uzorka pirofilita - 2+0,00 mm (Tyler-ova serija sita) prikazani su u tabeli 1 i na slici 1.

Tabela 1. Granulometrijski sastav uzorka rude pirofilita klasa -2,00mm

Klasa krupnoće, mm	M, %	↓∑ M, %	↑∑ M, %
- 2,38 + 1,60	0,54	0,54	100,00
- 1,60 + 1,00	8,67	9,21	99,46
- 1,0 + 0,63	11,98	21,19	90,89
- 0,63 + 0,40	19,73	40,92	78,81
- 0,40 + 0,30	13,06	53,98	59,08
- 0,30 + 0,20	11,97	65,95	46,02
- 0,20 + 0,10	8,60	74,55	34,05
- 0,10 + 0,00	4,07	78,62	25,45
Ulaz	100,00		



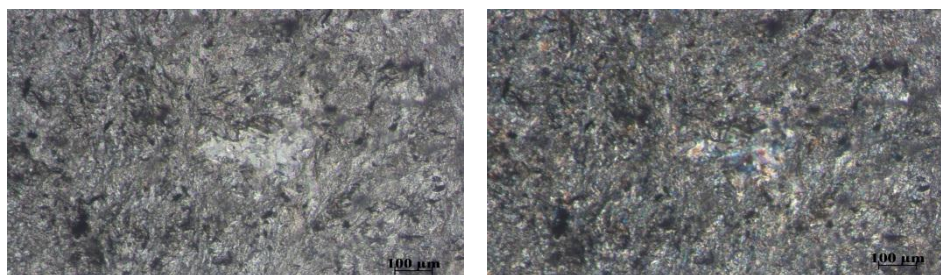
Slika 1. Granulometrijski-sastav polaznog uzorka rude pirofilita krupnoće -2,00+0,00mm. ( $d_{sr}=0,328$  mm)

**Hemijska karakterizacija**, tj. utvrđivanje hemijskog sastava polaznog uzorka pirofilita vršeno je standardnom analitičkom metodom, a rezultati analize su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Hemijski sastav rude pirofilita

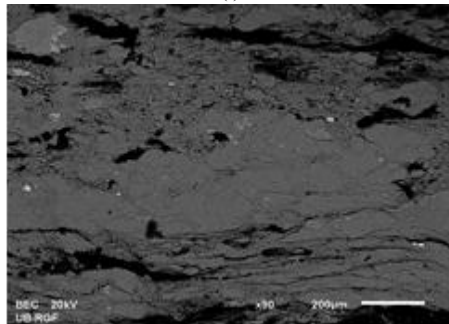
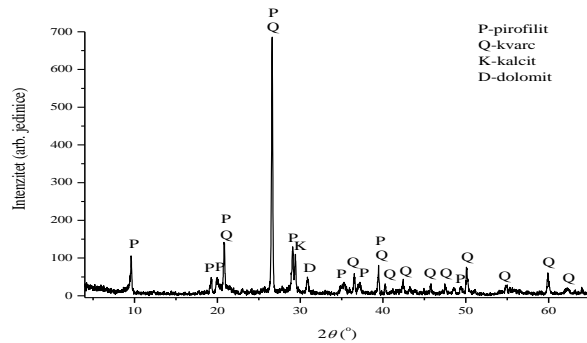
Komp.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	FeO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kr.H <sub>2</sub> O	BaO	G.Ž.
Sadr.,%	62,56	14,92	1,22	7,32	1,45	0,47	0,60	<0,167	0,32	0,10	0,16	2,48	<0,01	9,63

Rezultati ispitivanja mikroskopske analize rovnog uzorka pirofilita su pokazali da su minerali kvarca i pirofilita najzastupljeniji u uzorku, dok su karbonati manje zastupljeni. Kvarc je uglavnom bistar i donekle kaolinisan. Pirofilit obiluje čvrstim inkluzijama. Ove inkluzije su u vidu opakih, odnosno neprovidnih minerala. Feldspati i liskuni se javlja u tragu. Rezultati mikrofotografije analiziranog uzorka, prikazani su na slici 2.



Slika 2. Zrno kvarca u osnovnoj masi pirofilita propuštene svetlost, II (a) i (b) X Nikoli

**Rendgenska difrakciona** analiza korišćena je za određivanje i praćenje faznog sastava uzorka. Uzorak je analiziran na rendgenskom difraktometru marke "PHILIPS", model PW-1710. Mineralni sastav analiziranog uzorka je sledeći: **kvarc, pirofilit, kalcit, dolomit, kaolinit**. Pirofilit je najzastupljeniji mineral ( $\approx 50\%$ ), dok su kvarc ( $\approx 35\%$ ) i karbonati (kalcit oko  $10\%$  i dolomit  $\leq 5\%$ ) manje zastupljeni. Kaolinit je prisutan u tragu. Difraktogram ispitivanog uzorka prikazan je na slici 3. Analiza na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM-u) obavljena je na rudnom preparatu rovnog uzorka pirofilita, (vidi sliku 4.). Na osnovu ove analize može se zaključiti da se dobijeni rezultati vrlo dobro slažu sa rezultatima rendgenske analize.



- Slika 3. XRD praha rovnog uzorka pirofilita Slika 4. SEM rovnog uzorka pirofilita

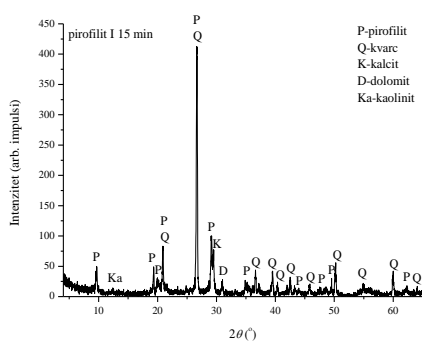
### Rezultati mikronizirajućeg mlevenja pirofilita

Suvo mikronizirajuće mlevenje pirofilita eksperimentalno je istraživano tako što su menjani parametri vezani za rad vibracionog, i ultra centrifugalnog mlina. Takođe, praćeni su i promenljivi parametri vezani za tip i rad mlinova, a kao njihova posledica proizišli su tehnološki parametri i parametri proizvoda suve mikronizacije, koji su prikazani u tabelama 3 i 4. Promenljivi parametri u radu mlinova, koji su u toku eksperimentalnih istraživanja menjani, su: broj obrtaja rotora motora ( $^{\circ}/\text{min}$ ), dimenzije aktivirajućih tela (m), masa aktivirajućih tela (kg), broj aktivirajućih tela (n), gustina aktivirajućih tela ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ). Od tehnoloških parametara procesa suve mikronizacije praćeni su sledeći parametri: vreme mlevenja t (min), kapacitet mlevenja Q ( $\text{kg}/\text{h}$ ), specifični utrošak energije e ( $\text{kWh}/\text{t}$ ). Od parametara proizvoda mikronizirajućeg mlevenja praćeni su sledeći parametri:  $d_{50}$  parametar koji zavisi od granulometrijskog sastava uzorka, koji karakteriše krupnoću uzorka,  $d_{95}$ , otvor sita kroz koje prolazi 95% mikroniziranog proizvoda ( $\mu\text{m}$ ),  $S_r$ , realna specifična površina ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ), zapreminska koncentracija čestica i nasipna masa [23].

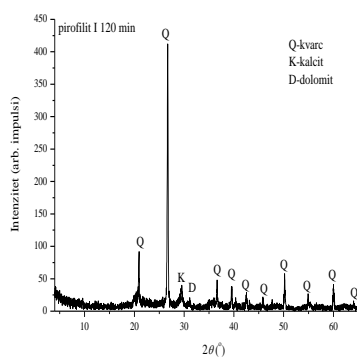
#### Mikronizirajuće mlevenje pirofilita u vibracionom mlinu

Mikronizirajuće mlevenje pirofilita, je vršeno u vibracionom mlinu, u toku od 15, 30, 60 i 120 minuta. Eksperimentalno postignuti rezultati pirofilita mikroniziranog u vibracionom mlinu prikazani su u tabeli 3 i na slikama 5 i 6, [24-26]. Mikronizirajuće mlevenje pirofilita mehaničkim silama, moguće je predstaviti kao višestepeni proces. Polazeći od uzorka

pirofilita mikroniziranog 15 min. u vibracijskom mlinu, dolazi do procesa dehidratacije koja se odvija postepeno bez značajnih strukturnih promena. Drugi stepen mikronizacije pirofilita u vibracijskom mlinu odnosi se za vreme mikronizirajućeg mlevenja od 30 i 60 min., gde dolazi do degradacije kristalne rešetke i početka amorfizacije. Treći stepen mikronizirajućeg mlevenja pirofilita u vibracijskom mlinu odnosi se na vremena mikronizacije od 120 min., a koje predstavlja ultra fino mikronizirajuće mlevenje. U tom stadijumu se potpuno narušava struktura, tako da pirofilit prelazi u amorfno stanje. Rentgenska analiza ispitivanih uzoraka za vremena mikronizirajućeg mlevenja od 15 pokazala je sledeći mineralni sastav (**pirofilit, kvarc, kalcit, dolomit, kaolinit**), (slika 5) a pri vremenu od 120 min. (**kvarc, kalcit, dolomit**), da difrakcioni maksimumi pirofilita ne postoje što znači da je ovaj mineral potpuno amorfizovan, (sl 6.).



Slika 5. XRD uzorka pirofilita 15 min.



Slika 6. XRD uzorka pirofilita 120 min.

Tabela 3. Rezultati parametara vezanih za vibracioni mlin sa prstenovima, tehnologiju i proizvode mikronizacije pirofilita

I Serija opita	Parametri vezani za tip mlina						Tehnološki parametri mikronizacije				Parametri proizvoda mikronizacije							$\Delta$ , kg/m <sup>3</sup>	
	Snaga motora N kW	Broj obrtaja el.mot. n °/min	Zapr. radne posude V dm <sup>3</sup>	Zapr. sa prsten. prste. V dm <sup>3</sup>	Masa radnih prste. M,kg	Step. zapu. $\varphi$ %	Vreme mikr. t min	Kapacitet Q kg/h	Spec. utr.energ. e kWh/t	d <sub>25</sub> $\mu$ m	d <sub>40</sub> $\mu$ m	d <sub>50</sub> $\mu$ m	d <sub>97</sub> $\mu$ m	d <sub>98</sub> $\mu$ m	d <sub>99</sub> $\mu$ m	d <sub>max.</sub> $\mu$ m	S <sub>r</sub> m <sup>2</sup> /kg		S <sub>v</sub> m <sup>2</sup> /cm <sub>3</sub>
1.	0,75	1000	1,3	0,9	3,74	70	15	0,80	937,50	1,73	2,65	3,47	19,43	24,67	24,91	33,02	5714,28	2,40	420
2.	0,75	1000	1,3	0,9	3,74	70	30	0,40	1875,00	1,50	2,17	2,77	14,85	16,53	18,80	24,45	5269,23	2,74	520
3.	0,75	1000	1,3	0,9	3,74	70	60	0,20	3750,00	1,35	1,88	2,34	12,63	13,86	15,20	18,84	4222,22	3,04	720
4.	0,75	1000	1,3	0,9	3,74	70	120	0,10	7500,00	1,51	2,20	2,84	20,92	31,51	56,24	146,52	3671,23	2,68	730

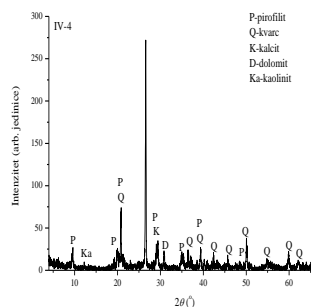
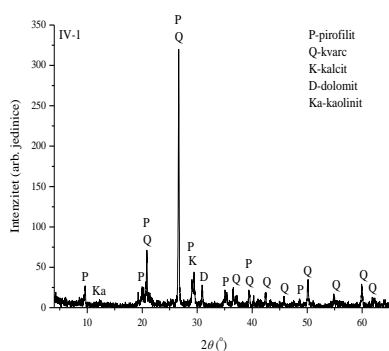
Tabela 4. Rezultati parametara vezanih za ultra centrifugalni mlin, tehnologiju i proizvode ultra fine mikronizacije pirofilita

Ser. opita	Red ni boj opita	Parametri vezani za ultra centrifugalni mlin				Tehnološki parametri mehaničke aktivacije				Parametri proizvoda mehaničke aktivacije								
		Broj obr. rot. °/min.	Stv. broj obr. rotora °/min.	Promenljivo kružno sito $\mu$ m	Jačina struje A	Vreme mikronizacije min.	Obimna brzina rotora m/s	Kapacitet mlina kg/h	Specifični utrošak energije kWh/t	d <sub>25</sub> $\mu$ m	d <sub>40</sub> $\mu$ m	d <sub>50</sub> $\mu$ m	d <sub>97</sub> $\mu$ m	d <sub>98</sub> $\mu$ m	d <sub>99</sub> $\mu$ m	d <sub>max.</sub> $\mu$ m	S <sub>v</sub> m <sup>2</sup> /cm <sub>3</sub>	S <sub>r</sub> m <sup>2</sup> /kg
I	1	10.000	15786,11	80	1,20	25,00	82,61	0,480	550,00	1,41	1,99	2,48	13,10	14,63	17,46	26,18	2,95	8428,57
	2	10.000	12477,92	80	1,80	9,00	65,30	1,333	297,07	1,42	2,01	2,52	13,88	15,58	18,82	27,52	2,91	8314,28
	3	10.000	11106,96	80	2,20	4,00	58,12	3,333	145,21	1,42	2,02	2,53	14,15	15,94	19,18	28,14	2,90	7435,89
	4	20.000	26720,26	80	1,60	14,00	139,83	0,869	405,06	1,41	1,99	2,48	13,00	14,44	16,87	23,21	2,94	8166,66
	5	20.000	22213,92	80	2,20	7,00	116,25	1,724	280,74	1,39	1,96	2,45	12,04	13,67	15,68	20,93	2,97	8250,00
	6	20.000	19314,29	80	2,80	2,00	101,07	6,060	101,65	1,40	1,98	2,47	12,49	13,97	16,05	21,53	2,95	8194,44

## Mikronizirajuće mlevenje pirofilita u ultra centrifugalnom mlinu

Eksperimentalna istraživanja suve mikronizacije pirofilita takođe su vršena na ultra centrifugalnom mlinu sa perifernom putanjom usitnjavanja, koji ima mogućnost izbora nominalnog broja obrtaja rotora od  $n_0 = 10.000$  i  $20.000$  °/min., zatim zamene kružnog sita i mogućnost promene opsega jačine struje. Praćeni su promenljivi parametri vezani za rad mlina, a kao njihova posledica proizišli su tehnološki parametri i parametri proizvoda suve mikronizacije, koji su prikazani u tabeli 4.

Rentgenska analiza ispitivanih uzoraka za vremena mikronizirajućeg mlevenja od 25 (IV-1) i 14 (IV-4) min. pokazala je sledeći mineralni sastav (**pirofilite, kvarc, kalcit, dolomit, kaolinite**), (slika 7 i 8), da difrakcioni maksimumi pirofilita pokazuju da dolazi do degradacije kristalne rešetke i početka amorfizacije.



Slika 7. XRD uzorka pirofilita 25 min. (IV-1)    Sl 8. XRD uzorka pirofilita 14 min. (IV-4)



## ZAKLJUČAK

Na osnovu eksperimentalnih istraživanja i eksperimentalno postignutih rezultata, očigledno je da istraživanje mikronizirajućeg mlevenja pirofilita u domenu savremenih tehnologija nije jednostavan zadatak, već složen i veoma važan.

Na osnovu eksperimentalno postignutih rezultata i njihove analize, mogu se doneti sledeći zaključci:

- Proces mikronizirajućeg mlevenja pirofilita sa kojim su obavljena ispitivanja, utvrđeno da postoji promena raspodele krupnoće čestica i specifične površine pri mikronizirajućem mlevenju u vibracijskom i ultra-centrifugalnom mlinu
- Difrakciona analiza X-zracima pokazala je da prilikom mikronizirajućeg mlevenja do najintenzivnije mehanoaktivacije dolazi u vibracijskom mlinu, pri vremenu od 120 min. Ovo se ogleda u visokom stepenu amorfizacije ispitivanog pirofilita, o čemu svedoči praktično stapanje difrakcionih maksimuma u jedan difuzioni breg.

Prilikom mikronizirajućeg mlevenja pirofilita u ultra-centrifugalnom mlinu mehanoaktivacija je slabija, sa aspekta promene kristalne strukture.

Saznanja o mikronizirajućem mlevenju izneta u ovom radu, predstavljaju doprinos tumačenju fenomena kod mikronizirajućeg mlevenja pirofilita, i ukazuju na mogućnost primene ovih rezultata u praksi i šire.

## ZAHVALNOST

Želimo izraziti našu zahvalnost AD HARBI-Sarajevo-BiH, koji nam je obezbedio uzorke pirofilita za eksperimentalna istraživanja. Rezultati u ovom radu proistekli su iz istraživanja na projektu TR33007, TR34006, 34013 koja su finansirana od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije.

## LITERATURA

- [1] Siniša Milošević, Ljubiša Andrić i dr.: "Domaće nemetalne mineralne sirovine za primenu u privredi", ITNMS, Beograd, 1998.
- [2] Ljubiša Andrić: "Proizvodnja nemetalnih mineralnih sirovina" (Production of Non-metallic Mineral Raw Materials), Poglavlje u monografiji: "Mineralno-sirovinski kompleks Srbije danas: izazovi i raskršća" (Mineral-Resources complex of Serbia today: Challenges and Crossroads), Akademija inženjerskih nauka Srbije (AINS), Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Privredna komora Srbije, ISBN 978-86-87035-02-7, 2010, Beograd, s.189-202
- [3] Ljubiša Andrić: Liskun-Prisprema i primena, Monografija, ITNMS Beograd, (2006).
- [4] Siniša Milošević, Milutin Dumić : Savremeno korišćenje i primena industrijskih minerala, Sistemsko inženjerstvo u industriji minerala, RGF Beograd, 1999.god. str.133-147.
- [5] Ljubiša Andrić, Istraživanje kinetike suve mikronizacije liskuna u ultra-centrifugalnim mlinovima sa perifernom putanjom usitnjavanja, (Magistarska teza), Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Srbija, 1993.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

622(082)

502/504(082)

СИМПОЗИЈУМ са међународним учешћем "Рударство" (10 ; 2019 ; Бор)

Zbornik radova = Proceedings / 10. simpozijum sa međunarodnim učešćem  
"Rudarstvo 2019" = 10st [i. e. 10th] Symposium with International Participation "Mining  
2019", Bor 28. - 31. maj 2019. ; [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, 2019 (Beograd :  
Akademska izdanja). - 266 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 200. - Bibliografija uz većinu radova. - Abstracts.

ISBN 978-86-80420-22-6

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  
276644108