



PRIVREDNA KOMORA SRBIJE
CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA

RUDARSTVO 2022

ODRŽIVI RAZVOJ U RUDARSTVU I ENERGETICI

ZBORNİK RADOVA



„ RUDARSTVO 2022“

13. simpozijum sa međunarodnim učešćem
- Održivi razvoj u rudarstvu i energetici

“MINING 2022“

- 13st Symposium with international participation
- Sustainable development in mining and energy

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS

Hotel „ Fontana “, Vrnjačka Banja
23. - 26. juna 2022.

ZBORNİK 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

180

ISBN: 978-86-80420-25-7.

Beograd, 23 maj 2022

13. Simpozijum „Rudarstvo 2022“ Održivi razvoj u rudarstvu i energetici

NAUČNI ODBOR

prof.dr Ljubiša Andrić, ITNMS, Beograd; dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; dr Dragan Radulović, ITNMS, Beograd; Prof. dr Neđo Đurić, Tehnički institut, Bjeljina; prof.dr Grozdanka Bogdanović, Tehnički fakultet; dr Dragana Jelisavac Erdeljan, MRE R. Srbije; dr Branislav Marković, ITNMS, 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; Prof. Snežana Ignjatović, RGF, Beograd; dr Nevad Ikanović, JP Elektroprivreda BiH, prof.dr Omer Musić, RGG fakultet, Tuzla; dr Nataša Đorđević, ITNMS, Beograd; dr Zlatko Dragosavljević, rudnik GROT; dr Zajim Hrvat, JP Elektroprivreda BiH; 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 Jadranka Vukašinović, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; mr Šefik Sarajlić, RMU Đurđevik; dr Dimšo Milošević, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; dr Milisav Tomić, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; dr Halid Čičkušić, ZDR „Kreka“, BiH, dr Milica Vlahović, IHTM, Beograd; dr Sanja Martinović, IHTM, Beograd; mr Žarko Nestorović, JPEPS, Ogranak HE Đerdap

PROGRAMSKI ODBOR

dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; Milan Jakovljević, JP EPS; Danko Prokić, JP EPS; Andrea Radonjić, Rio Tinto; Jovica Radisavljević, Zijin Bor Copper doo Bor; Prof. dr Milanka Negovanović, RGF, Beograd; Branko Đukić, JP PEU, Resavica; Borivoje Stojadinović, IRM Bor; Ivan Filipov, rudnik Kovin; Drago Vasović, rudnik Veliki Majdan; Mr Šahbaz Lapandić, rudnik mrkog uglja Banovići

SADRŽAJ / CONTENTS:

Plenarna predavanja / Plenary Presentations

NAUČNA STRUČNA VALIDACIJA BENTONITSKOG MINERALNOG RESURSA, NA OSNOVU FIZIČKO-HEMIJSKIH I MINERALOŠKIH ISPITIVANJA UZORKA BENTONITA IZ LEŽIŠTA „BIJELO POLJE“ – OPŠTINA BAR Dragan S. Radulović, Ljubiša Andrić, Branislav Ivošević, Dejan Todorović, Vladimir Jovanović, Sonja Milićević, Jelena Petrović	5
TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE LIGNITA KOLUBARSKOG UGLJONOSNOG BASENA, SRBIJA Bogoljub Vučković, Dragana Životić, Biljana Radovanović	20
POBOLJŠANJE TEHNOLOGIJE PODVODNE EKSPLOATACIJE UGLJA NA RUDNIKU KOVIN Ivan Filipov	30
PRIMENA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA KOD IZRADE VERTIKALNIH JAMSKIH PROSTORIJA-OKANA Duško Đukanović, Nemanja Đokić	41
PROIZVODNJA ČVRSTOG BIOGORIVA OD OTPADNE BIOMASE POSTUPKOM HIDROTERMALNE KARBONIZACIJE Jelena Petrović, Marija Simić, Marija Ercegović, Marija Koprivica, Marija Kojić, Jelena Milojković, Jelena Dimitrijević	52
STRATEGIJA RUDARSKIH KOMPANIJA ZA VREME PANDEMIJE COVID-19 Slavica Miletić, Dejan Bogdanović, Miroslav Ignjatović, Emina Požega, Zdenka Stanojević Šimšić, Vesna Conić	59
TERMALNA ANALIZA MEHANIČKI AKTIVIRANOG NATRIJUM KARBONATA I NJEGOVE FAZNE PROMENE TOKOM VREMENA RELAKSACIJE Nataša Đorđević, Slavica Mihajlović, Sanja Martinović, Milica Vlahović	67
KARAKTERIZACIJA UZORKA HOLOVIM EFEKTOM I VAN DER PAUVOM METODOM Emina Požega, Nikola Vuković, Danijela Simonović, Milijana Mitrović, Slavica Miletić, Miloš Janošević, Miomir Mikić	74
RECIKLAŽA OTPADA KOJI SADRŽI MATERIJALE NA BAZI KARBONATNIH MINERALNIH SIROVINA Slavica Mihajlović, Nataša Đorđević, Vladan Kašić, Vladimir Jovanović	79

Saopštenja / Contributions

PROCESNA ANALITIKA Zorica Gojak	87
DEFINISANJE OPTIMALNE KONTURE POVRŠINSKOG KOPA ZAGRAĐE 5 KOD BORA Daniel Kržanović, Radmilo Rajković, Miomir Mikić, Milenko Jovanović	100

OSKULTACIJA FLOTACIJSKIH JALOVIŠTA	
Sandra Milutinović, Ivan Svrkota, Ljubiša Obradović, Miomir Mikić	107
PRIMENA KOMBINOVANIH (HIBRIDNIH) MATERIJALA U GEOMEMBRANAMA	
Milenko Jovanović, Daniel Kržanović, Radmilo Rajković, Miomir Mikić	
Emina Požega	118
ANALYSIS OF STABILITY OF THE FINAL SLOPE OF THE OPEN PIT MINING SOUTH DISTRICT OF THE COPPER MINE MAJDANPEK IN THE NORTHWESTERN PART - LANDSLIDE ZONE	
Radmilo Rajković, Daniel Kržanović, Miomir Mikić, Milenko Jovanović,	
Emina Požega	126
REKULTIVACIJA SPOLJAŠNJEG ODLAGALIŠTA JALOVINE SARAKA POVRŠINSKOG KOPA „VELIKI KRIVELJ”, SRBIJA	
Miomir Mikić, Milenko Jovanović, Radmilo Rajković, Igor Svrkota	134
REKULTIVACIJE ODLAGALIŠTA KONCENTRATA PIRITA, FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA I ODLAGALIŠTA NEUTRALIZACIONOG MULJA NA LOKACIJI ČUKARU PEKI, SRBIJA	
Miomir Mikić, Sandra Milutinović, Milenko Jovanović, Daniela Urošević	142
MONITORING FORMIRANOG ODLAGALIŠTA U OTKOPANI PROSTOR PK KRAKU BUGARESKU CEMENTACIJA 1	
Miomir Mikić, Emina Požega, Radmilo Rajković, Daniel Kržanović	151
BUDUĆNOST UGLJA U ENERGETICI REPUBLIKE SRBIJE NAREDNIH DECENIJA	
Mirko Ivković, Vladimir Todorović, Boban Branković, Zorica Ivković,	
Dejan Dramlić	161
BUDUĆNOST PODZEMNE GASIFIKACIJE UGLJA SA ASPEKTA ODRŽIVOG RAZVOJA	
David Petrović, Duško Đukanović, Nemanja Đokić, Vladimir Todorović	172
ANALIZA REZERVI UGLJA PREDISPONIRANIH ZA SISTEM PODZEMNE EKSPLOATACIJE U REPUBLICI SRBIJI	
Ivković Zorica, Tošić Dražana, Dramlić Dejan	183
UTICAJ SLOŽENIH RUDARSKO- GEOLOŠKIH FAKTORA NA IZBOR NAČINA OTKOPAVANJA ŠIROKOČELNOM OTKOPNOM TEHNOLOGIJOM	
Halid Čičkušić, Kenan Herco, Šefik Sarajlić	190
POSTUPAK IZRADE KVALITETNIH GEOLOŠKIH PODLOGA U SLUŽBI PRIMENJENE GEOLOGIJE, LEŽIŠTE UGLJA „POLJE G”, KOLUBARSKI UGLJONOSNI BASEN, SRBIJA	
Slobodan Latatović	202
ZNAČAJ I REALIZACIJA GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA ZA IZGRADNJU TE “KOLUBARA B”	
Miodrag Kezović	215
DETALJNA ANALIZA PRVOG UGLJENOG SLOJA U DELU LEŽIŠTA “TAMNAVA-ZAPADNO POLJE”	
Miodrag Kezović	229

KOMPJUTERSKI SIMULACIONI MODEL DISKONTUNUALNOG SISTEMA EKSPLOATACIJE UGLJA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	
Dimšo Milošević, Miro Maksimović	241
ODREĐIVANJE UKUPNE ŽIVE U UGLJU POMOĆU ANALIZATOR AMA-254	
Rada Krgović, Jadranka Todorović	251
PREGLED OSNOVNIH SIROVINA ZA PROIZVODNJU ČELIKA U SVIJETU U RAZDOBLJU OD 2000. DO 2022. GODINE	
Mirko Gojić, Stjepan Kožuh, Ivana Ivanić	276
KOMASACIJA I ODRŽIVO KORIŠĆENJE POLJOPRIVRENOG ZEMLJIŠTA	
Milan Trifković, Miroslav Kuburić, Jelena Tatalović, Žarko Nestorović	290
KOMPLEKSNOST SISTEMA ODVODNJAVANJA NA PK GACKO	
Aleksandar Ateljević, Dušan Nikčević, Nenad Lasica, Petar Marković, Ranko Stojanović	295
MODELIRANJE ZAGAĐENJA ZEMLJIŠTA U ZONI RUDNIKA SA POVRŠINSKOM EKSPLOATACIJOM LIGNITA, PRIMENOM DALJINSKE DETEKCIJE I GIS-a	
Milislav Tomić	307
POJAM, ZNAČAJ I NAČIN FORMIRANJA ORGANIZACIONE KULTURE U DELATNOSTI RUDARSTVA	
Blagoje Aleksić	316
PRIMENA ANTRACITA KAO TEHNOLOŠKE SIROVINE U SPECIJALNE NAMENE	
Bojana Maksimović, Branislav Stakić, Jovica Sokolović, Ivana Ilić	332
UNAPREĐENJE UPRAVLJANJA POMOĆNOM MEHANIZACIJOM NA PK „DRMNO“ PRIMENOM KONCEPTA PAMETNOG RUDARSTVA	
Filip Todorović, Goran Anđelić	339
UPRAVLJANJE SF6 GASOM U EMS AD	
Sandra Petrović, Miliša Jovanović	346

KARAKTERIZACIJA UZORKA HOLOVIM EFEKTOM I VAN DER PAUOVOM METODOM

SAMPLE CHARACTERIZATION BY THE HALL EFFECT AND VAN DER PAUW METHOD

Emina Požega¹, Nikola Vuković², Danijela Simonović¹, Milijana Mitrović³,
Slavica Miletić¹, Miloš Janošević¹, Miomir Mikić¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor; ²Opština Kladovo, Kladovo

³Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, 'Bor

Izvod

U radu je izvršeno posmatranje električnih karakteristika uzorka primenom sistema za merenje Holovog efekta (Hall Effect Measurement System), oznake HMS-3000, firme Ecopia. Nakon izvršenog merenja uz pomoć sistema za merenje Holovog efekta na ispitivanom uzorku podaci su automatski izračunati. Podaci koje smo dobili nakon merenja su: površinska koncentracija nosilaca, pokretljivost, specifična otpornost, provodljivost, Holov koeficijent, magnetna otpornost (pojava promene otpornosti kada se uzorak izloži magnetnom polju), alpha (horizontalni/vertikalni odnos otpornosti) itd. Pozitivne vrednosti Holovog koeficijenta ukazuju da je ispitivani materijal p-tipa. Sprovedeno istraživanje uzorka $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.8}\text{Se}_{0.2}$ je obogatilo skup podataka relevantnih za dalja istraživanja.

Ključne reči: energetska efikasnost, Holova merenja, Van der Pauova metoda, termoelektrični materijali, monokristal bizmut telurida

Abstract

The electrical characteristics of the sample were observed using the Hall Effect Measurement System, marked HMS-3000, by Ecopia. After the measurement was performed with the help of the Hall effect system for measuring on the tested sample, the data were automatically calculated. The data obtained after the measurements are: surface concentration of carriers, mobility, specific resistance, conductivity, Hall coefficient, magnetic resistance (occurrence of resistance change when the sample is exposed to magnetic field), alpha (horizontal / vertical resistance ratio), etc. Positive values of the Hall coefficient indicate that the tested material is p-type. The conducted research of the $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.8}\text{Se}_{0.2}$ sample enriched the set of data relevant for further research.

Key words: energy efficiency, Hall measurements, Van der Pauw method, thermoelectric materials, bismuth telluride single crystal

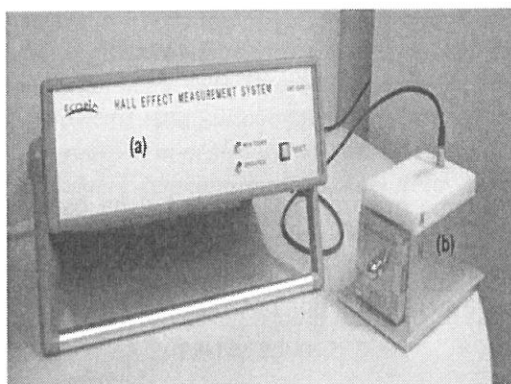
Uvod

Polaritet slobodnih nosioca naelektrisanja (šupljina i elektrona) u nekom provodnom ili poluprovodnom materijalu, tj. tip materijala od koga je uzorak, može da se odredi Holovim efektom. **Holov efekat** je pojava, imenovana po američkom naučniku *Edvinu Herbertu Holu* (eng. Edwin Herbert Hall, 1855-1938), da u materijalu kroji je postavljen u spoljašnje magnetno polje i kroz koji je

propuštena struja dolazi do pojave napona čiji je pravac normalan na pravac magnetnog polja. Termin *Holov efekat* se odnosi na napon, tzv. **Holov napon**, koji se javlja na suprotnim stranama provodnog ili poluprovodnog materijala. Pozitivan Holov napon ukazuje da je materijal p-tipa (većinski nosioci naelektrisanja su šupljine), a negativan Holov napon ukazuje da je materijal n-tipa (većinski nosioci naelektrisanja su elektroni) [1-3]. Van der Pauova metoda je zasnovana na Holovom efektu. Ovom metodom opisuju se karakteristike poluprovodničkih uzoraka. Metodu je prvi otkrio i objavio holanđanin Van der Pau 1958. god. Postoji mogućnost primene Van der Pauove metode na različitim temperaturama. Da bi mogla da se koristi Van der Pauova metoda, debljina uzorka mora biti manja od njegove širine i dužine [4-9]. U našim istraživanjima merenja su vršena na sobnoj temperaturi.

EKSPERIMENTALNI DEO

Monokristalni uzorak p tipa, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.8}\text{Se}_{0.2}$ koji je ispitivan Holovim efektom i Van der Pauvom metodom, sintetisan je Bridžman postupkom u Srpskoj Akademiji Nauka i Umetnosti u Beogradu (SANU) [10-14]. Bridžman postupak je metoda rasta kristala iz rastopa. Za sintezu monokristala kao polazni materijali, korišćeni su spektroskopski čisti materijali (5N čistoće). Bizmut (Sigma – Aldrich, 99.999%), Telur (Sigma – Aldrich, 99.999%) i selen (Alfa Aesar, 99.999%) uzimani su u određenoj proporciji. Uzorak za ispitivanje ujednačene debljine 1.8 mm kružnog poprečnog preseka (tj. oblika diska), oznake 6/4, isečen je iz ingota normalno na pravac kristalizacije i pripremljen je za ispitivanje. Na uzorku nije bilo nepravilnosti. Obe strane uzorka su bile ravne i paralelne. Ovako pripremljen uzorak smanjio je greške izmerenih rezultata. Merenja su obavljena na sobnoj temperaturi ($T = 300 \text{ K}$) na uređaju oznake "Ecopia HMS-3000 komplet" (prikazanog na slici 1), pri jačini struje od 5mA i sa Šotkijevim kontaktima.



Slika 1. Ecopia HMS-3000 komplet
Izvor magnetnog polja bio je stalni magnet od 0,37 T.

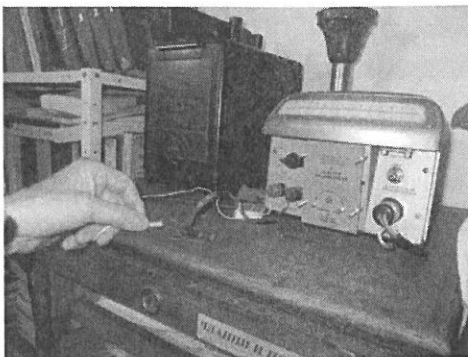
Nakon izvršenih merenja, iz dobijenih rezultata proračunate su sledeće osobine materijala:

- površinska (slojna) otpornost, iz koje je bilo moguće odrediti specifičnu zapreminsku otpornost, na osnovu poznate debljine uzorka, 1.8 mm
- tip dopiranosti uzorka (p-tip ili n-tip)
- površinska koncentracija većinskih nosilaca naelektrisanja (broj većinskih nosilaca po jedinici površine).
- pokretljivost većinskih nosilaca naelektrisanja

Tabela 1. Rezultati merenja pri jačini struje od 5mA uzorka 6/4 p kružnog poprečnog preseka debljine 1.8 mm na sobnoj temperaturi (25°C) i pri magnetnoj indukciji stalnog magneta $B = 0.370 \text{ T}$

Merena veličina	Simbol	Rezultat	Merna jedinica
Zapreminska koncentracija nosilaca	n_b	6.640×10^{18}	$/\text{cm}^3$
Pokretljivost	μ	1.565×10^2	cm^2/Vs
Specifična otpornost	ρ	6.008×10^{-3}	Ωcm
Srednji (prosečni) Holov koeficijent	R_{H1}	9.401×10^{-1}	cm^3/C
A-C poprečni Holov koeficijent	R_{H1}	9.863×10^{-1}	cm^3/C
B-D poprečni Holov koeficijent	R_{H2}	8.940×10^{-1}	cm^3/C
Površinska koncentracija nosilaca	n_s	1.195×10^{18}	$/\text{cm}^2$
Specifična provodnost	σ	1.664×10^2	$1/\Omega\text{cm}$
Magnetna otpornost	ΔR	2.442×10^{-3}	Ω
Vertikalno/Horizontalni odnos otpornosti	α	8.606×10^{-2}	

Na osnovu rezultata merenja prikazanih u Tabeli 1. i na osnovu znaka Holovog koeficijenta određen je tip dopiranosti našeg uzorka. Vrednost Holovog koeficijenta je pozitivna. Ovo ukazuje da je uzorak p tipa i da su većinski nosioci naelektrisanja u našem uzorku šupljine. Da su uzorci p tipa potvrđeno je i metodom vruće tačke (sl. 2.).



Slika 2. Određivanje tipa većinskih nosilaca naelektrisanja metodom vruće tačke

Metodom vruće tačke, kao što je prikazano na slici 2., odredili smo tip većinskih nosilaca, merenjem polariteta otklona galvanometra između vrućeg i hladnog kraja uzorka, imajući u vidu da se većinski nosioci usled termalne difuzije uvek nagomilavaju na hladnom kraju uzorka. Pomoću broja većinskih nosilaca po jedinici površine i na osnovu poznate debljine uzorka mogli smo da izračunamo nivo dopiranosti našeg uzorka.

ZAKLJUČAK

U okviru istraživanja ostvaren je značajan naučni doprinos u oblasti primene bizmut telurida kao termoelektričnog materijala i seleno kao njegovog dopanta. Izvršena je uspešna sinteza monokristala $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.8}\text{Se}_{0.2}$ p tipa dobijenog Bridžman postupkom. Naučni i praktični značaj ovih istraživanja se ogleda u uspešnoj sintezi monokristala bizmuta i telura dopiranog selenom.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju profesoru akademiku Panteliji Nikoliću[†] na velikom i nesebičnom zalaganju i pomoći u svim fazama istraživanja. Takođe, autori se žele zahvaliti Stevanu Vujatoviću[†], specijalizovanom tehničaru za izradu monokristala, kao i dr Ljiljani Živanov, redovnom profesoru na Katedri za elektroniku, Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije Fakulteta tehničkih nauka (FTN) Univerziteta u Novom Sadu i prof. dr Milanu Radovanoviću, na pomoći pri Holovom eksperimentu. Istraživanja predstavljena u ovom radu su urađena uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru finansiranja naučno istraživačkog rada u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor, prema ugovoru 451-03-68/2022-14/ 200052.

LITERATURA

- [1] Nikolić P. M., Raković D. I., Vujatović S. S., Ristovski Z. D., Pavlović M. B., Đurić S. B., Osmokrović P. V. Uputstva za vežbe iz elektrotehničkih materijala, Elektrotehnički fakultet, Beograd 1990.
- [2] Nilolić P. Elektrotehnički materijali, Elektrotehnički fakultet Beograd, 1980.
- [3] Spasojević Ž., Popović Z. V. Elektrotehnički i elektronski materijali, Beograd, 1995.
- [4] Tritt, T. M. Ed. Semiconductors and Semimetals, Recent Trends in Thermoelectric Materials Research: Part One to Three (Academic, San Diego, CA, 2001), vol. 69 to 71.
- [5] Yan, X., Poudel, B., Ma, Y., Liu, W., Joshi, G., Wang, H., Lan Y., Wang, D., Chen, G. Ren, Z. Experimental studies on anisotropic thermoelectric properties and structures of n-type $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ Nano Lett. 10, (2010) 3373- 3378.
- [6] Bhakti J., Dimple S., Ravindra N. M. Transport Property Measurements in Doped Bi_2Te_3 Single Crystals Obtained via Zone Melting Method. Journal of electronic materials, 44 (6) (2015), 1509-1516.
- [7] Satterwaite, R. U. Electrical and thermal properties of Bi_2Te_3 , Physics Reviews, 108 (1957) 1164 -1170.
- [8] Snyder, G., Toberer, E. Complex thermoelectric materials. Nature materials 7 (2008) 105-114.
- [9] Đurić S. Metode istraživanja u kristalografiji, Tehnički fakultet u Čačku i Institut tehničkih nauka SANU, Beograd, Čačak, 2002.
- [10] Požega E., Sinteza i karakterizacija monokristala bizmuta i telura dopiranih selenom, cirkonijumom i arsenom (Doktorska disertacija), Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2018, p. 82.
- [11] Požega E., Nikolić P., Bernik S., Gomidželović L., Labus N., Radovanović M., Marjanović S., Synthesis and investigation of BiSbTeSe single crystal doped with Zr produced using Bridgman method, Revista de Metalurgia 53 (3) (2017)
- [12] Luković D. Uticaj dopiranja niklom na optička, transportna i neka toplotna svojstva olovo-telurida, magistarska teza, Beograd 2005.
- [13] Nikolić S., Golubović A. Rast kristala iz rastopa, metoda Bridgman-a. Metalurgija, 7 (4) (2001) 221-227.
- [14] Požega, E., Ivanov, S., Stević, Z., Karanović, Lj., Tomanec, R., Gomidželović, L., Kostov, A. Identification and characterization of single crystal $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$ alloy. Transactions of nonferrous metals society of China, 25 (2015) 3279-3285.