

International scientific conference
Environmental impact of illegal construction, poor
planning and design IMPEDE 2019

CONFERENCE PROCEEDINGS

10 – 11 October 2019, Belgrade, Serbia

IMPEDE 2019

CONFERENCE PROCEEDINGS

International scientific conference Environmental impact of illegal construction, poor planning and design IMPEDE 2019

Organizer / Publisher: Association of Chemists and Chemical Engineers of Serbia (UHTS)

Organizer: Academy of Engineering Sciences of Serbia (AESS)

Co – Organizers: Faculty of Forestry, University of Belgrade and Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, Belgrade

IMPEDE 2019 conference is supported by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia

Editor in Chief: Marina Mihajlović, Ph.D

For publisher: Zoran Popović, M. Sc.

Printing office: Čigoja štampa
Studentski Trg 1, Belgrade

Print run: 120

ISBN: 978-86-901238-0-3

10 – 11 October 2019, Belgrade, Serbia

Causes and Consequences of Inadequate Biological Reclamation of Mine Lands: Case Study Bor, Serbia

Uzroci i posledice neadekvatne biološke rekultivacije rudničkih površina: studija slučaja Bor, Srbija

Dragana Randelović^{1}, Srđan Stanković, Tatjana Šoštarić*

¹Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, Franchet d'Esperey 86, 11000 Belgrade, Serbia

Several decades after termination of dumping at the mine waste sites in Bor area biological reclamation process has been only sporadically implemented, with very limited success. Overburden dumps and tailings nowadays present the source of contamination for surrounding environment by spreading the particles enriched with metals into the pedosphere, biosphere, atmosphere, and hydrosphere. Wind and water erosion, as well as the chemical leaching of wastes are the main vectors of pollution. This paper presents case study of inadequate biological reclamation process in one of the largest copper mine basins in Europe, aiming to summarize the causes and consequences of such a case.

Keywords: dissemination, pollution, vegetation, impact

*d.randjelovic@itnms.ac.rs

1. Uvod

Površinska eksploatacija sirovina spada među najdrastičnije oblike degradacije životne sredine. Obaveza sanacije posledica rudarenja na životnu sredinu i rekultivacije degradiranog zemljišta regulisana je nacionalnim zakonodavstvom, ali mehanizmi implementacije, nadzora i naknadnog monitoringa rekultivacije nisu eksplicitno definisani.

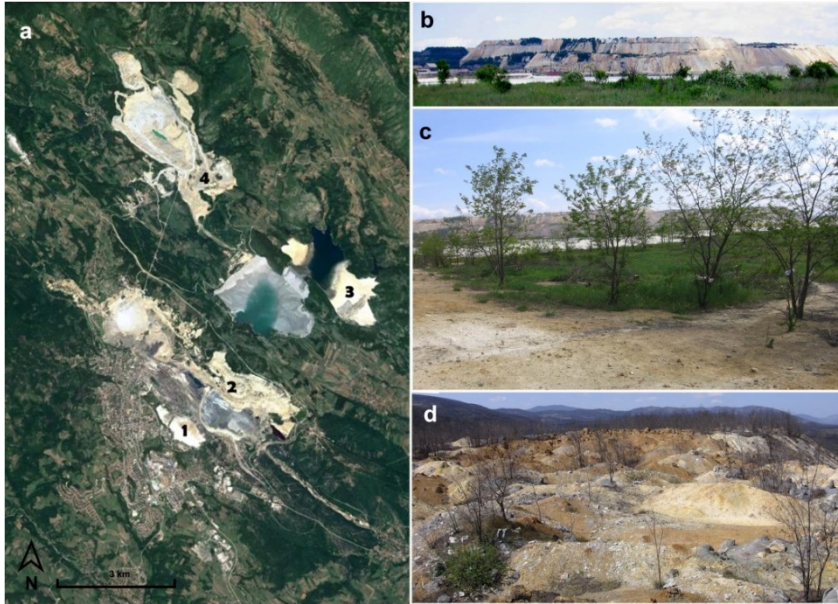
Jedan od najefikasnijih oblika rekultivacije je biološka rekultivacija prostora, koja često predstavlja najjeftiniju opciju sa mnogobrojnim pozitivnim uticajima na životnu sredinu, gde doprinosi oživljavanju predela, a u pojedinim slučajevima i njegovom vraćanju u stanje blisko prirodnom. Biološka rekultivacija je multidisciplinarni, višefazan postupak, kome prethodi analiza postojećeg stanja, a potom i naknadno praćenje procesa uz monitoring i korekcije po potrebi. Posledice neadekvatne rekultivacije ili izostanka rekultivacije nakon rudarskih radova su dalekosežne: najčešće rezultuju u trajnom oštećenju okolnog zemljišta, površinskih i podzemnih voda, kontaminaciji vazduha česticama prašine, ali i prodiranju zagađujućih materija u lance ishrane i negativnom uticaju na ljudsko zdravlje.

Gradsko naselje Bor razvilo se u neposrednoj blizini borskih rudnika, flotacije, topionice i fabrike sumporne kiseline, kao i jalovišta rudnika (Slika 1a). Zagađenje grada i okoline gasovima, otpadnim vodama i prašinom stoga je izraženo. Zastarelost tehnologije kao i postrojenja topionice bakra bili su primarni uzrok visokog stepena zagađenja životne sredine, pre svega vazduha, ali i drugih medijuma, pa je Bor proglašen za jedno od najzagađenijih mesta u Srbiji (LEAP, 2003). Neadekvatno sprovedena rekultivacija jalovišta u Boru rezultovala je velikim količinama ogoljene otkrivke podložne izluživanju i rasejavanju, pa su rudnička jalovišta dugo predstavljala neke od sekundarnih izvora zagađenja. Nova topionica bakra sa savremenijom tehnologijom aktivirana je 2015. godine, što je umanjilo dalje zagađenje životne sredine ovog područja, ali je problem istorijskog zagađenja ostao. U uslovima smanjene emisije zagađenja, problematika sanacije rudničkog otpada dobija na značaju. Ovaj rad prikazuje slučaj neadekvatne biološke rekultivacije u basenu Bor, uzroke i posledice takvog stanja, kao dela istorijskog zagađenja i industrijskog nasleđa na ovom području.

2. Istorijat biološke rekultivacije jalovišta u Boru

Rekultivacija drvenastim vrstama na jalovištima u Boru započela je 1979. godine, sadnjom i setvom 5 000 primeraka bagrema. Naredne godine konstatovano je da je oko 40% semena izniklo, i da je oko 30% sadnica preživelo i nastavilo da se razvija (Šumska sekcija Bor, 1988). U jesen iste godine broj preživelih individua sveo se na 10%. Naredna etapa rekultivacije bagremom odigrala se od 1982-1986. godine, sađenjem dvogodišnjih sadnica bagrema, sa prosečnim procentom prijema od 40% u prvoj godini nakon sadnje (RTB Bor, 1986). U periodu od 1992-1996. na borskim jalovištima vršeni su ogledi sadnjom različitih drvenastih vrsta (platan, breza, lipa, topola, jasen, brest, vrba, tamariks, bagrem). Ukupan procenat prijema ovih sadnica u prvoj godini iznosio je 48,8% (Milijić, 1997). Većina ovih zasada do danas se nije održala (Slika 1b).

Na flotacijskom jalovištu u Boru 2008. godine sproveden je ogled pošumljavanja drvenastim vrstama, za koji su izabrane autohtone lišćarske vrste (hrast lužnjak, javor, divlja trešnja, poljski jasen, kesten), alohtone vrste (bagrem, platan), kao i četinarska vrsta smrča. Najbolji uspeh toku vegetacije postigli su bagrem, javor i jasen (80-100% prijema) dok su ostale vrste imale izraženu pojavu oštećenja i slabog rasta (Dožić et al., 2010). Godine 2008. izvršeno je i pošumljavanje 10 ha na jalovištu Veliki Krivelj bagremom i sibirskim brestom. Naknadno rekognosciranje terena od strane Žikića i saradnika (2017) pokazalo je da je procenat preživljavanja bagrema iznosio 16-95 %, dok sibirski brest nije opstao na ovom području.



Slika 1. a) Jalovišta rudarskog basena Bor 1- flotacijsko jalovište "Bor" 2- jalovište raskrivke "Bor" 3- flotacijsko jalovište "Veliki Krivelj" 4-površinski kop "Veliki Krivelj"; b) mozaična pokrovnost vegetacije na jalovištu raskrivke "Bor"; c) pojas zelenila na flotacijskom jalovištu "Bor" proređen sečom; d) heterogen izgled podloge na jalovištu raskrivke

Za potrebe sanacije istorijskog zagađenja u RTB Bor 2011. godine odobren je kredit Svetske banke u vrednosti od 33 miliona dolara, kojim je bila predviđena rekultivacija 450 ha starih borskih jalovišta. Projekat rekultivacije je izrađen, ali se samom izvođenju rekultivacije nije pristupilo, pored ostalog jer se i Rudarsko-topioničarski basen Bor odlučio za dalje korišćenje ovih jalovišta usled postojanja povećanog procenta rude koja se u njima zadržala nakon prerade. Do danas ova vrsta naknadne eksploatacije iz jalovišnog materijala nije izvedena, tako da je istorijsko zagađenje na ovom prostoru i dalje prisutno.

3. Uzroci i posledice nekompletne biološke rekultivacije jalovišta u Boru

Ograničen uspeh dosadašnjih pokušaja ozelenjavanja borskih kopova može se pripisati kompleksnom uticaju više faktora u različitim fazama. U osnovi se oni mogu podeliti na uzroke u fazi pripreme i nastanka objekta koji podleže biološkoj rekultivaciji, u fazi izvođenja biološke rekultivacije i fazi nakon sprovođenja biološke rekultivacije.

3.1. Uzroci i posledice u fazi pripreme i nastanka objekta koji podleže biološkoj rekultivaciji

Način tehničke rekultivacije - na jalovištima raskrivke u Boru tehnička rekultivacija u smislu naknadnog terasiranja terena je izostala, a zbog uštede na transportu jalovišta raskrivke formirana su u startu bez etažnih ravni. Ovakav tip odlagališta zauzima manju površinu, pa su i troškovi formiranja manji, ali je zato proces biološke rekultivacije zahtevniji u odnosu na etažna odlagališta. Strme kosine odlagališta nagiba 32-40° onemogućavaju spontani razvoj vegetacije i zahtevaju primenu mera stabilizacije kosina odnosno drugih posebnih bioinženjerskih mera.

Neselektivno odlaganje rudničke otkrivke –u Borskom basenu od samog početka površinske eksploatacije nije primenjivano selektivno odlaganje otkrivke, odnosno skladištenje površinskog plodnog dela zemljišta na privremene deponije i njegovo kasnije vraćanje na površinu formiranih odlagališta. Odlaganjem heterogenog stenskog materijala formiran je mozaičan izgled podloge na kojoj se obavljala tehnička i biološka rekultivacija (Slika 1d).

Kisele rudničke vode - ogoljene površine rudničkih jalovišta koje sadrže pirit izložene su atmosferalijama i predstavljaju mesto za nastanak kiselih rudničkih voda (Stanković et al., 2014). Tom prilikom dolazi do naglog snižavanja pH vrednosti jalovišnog materijala, a uslovi za formiranje vegetacionog pokrivača ili održanje postojeće vegetacije postaju znatno otežani (Mudd i Paterson, 2010). Sa druge strane, postojeća vegetacija može uticati na prevenciju oksidacije sulfidnih minerala u dubljim slojevima jalovišta putem poboljšanja mikroklimatskih uslova, konzumacije kiseonika i redukcije biomase acidofilnih mikroorganizama koji oksiduju gvožđe i sumpor (Li et al., 2016).

Ekotoksikološki faktori – Vegetacija na području rudničkih jalovišta basena Bor izložena je stalnom dejstvu čvrstih čestica koje sadrže teške metale i metaloide, sumpor-dioksidu iz vazduha i sumpornim jedinjenjima u podlozi, kao i dejstvu mineralne prašine. U površinskim profilima jalovišta raskrivke i flotacijskih jalovišta rudnika u Boru pronađena je povišena koncentracija Cu (10-223 mg/kg) i As (36.7 -119 mg/kg), koja predstavlja jedan od limitirajućih faktora za razvoj i širenje vegetacije na ovom području (Lilić et al., 2014). Do puštanja u rad nove topionice bakra u Boru 2015. godine, prosečan broj dana u godini u periodu od 1980-2007 u kojima je količina SO₂ u vazduhu prelazila granične vrednosti emisije (Službeni Glasnik RS, 19/06) iznosio je 142 (Marjanović et al., 2003), pa je biljni svet ovog područja bio izložen dejstvu ovog gasa i pratećih zagađivača iz procesa prerade rude duži vremenski period u toku godine. Mineralna prašina poreklom sa jalovišta flotacije i raskrivke takođe ima negativan efekat na biljni svet. Nataložene čestice na listovima biljaka mehanički inhibiraju rad stoma, dok se hemijski efekti ispoljavaju negativnim dejstvom na molekularne konstituente delova ćelije i metaboličke procese u njima.

3.2. *Uzroci i posledice u fazi izvođenja biološke rekultivacije*

Kvalitet sadnog materijala i tehnologija sadnje - biološka rekultivacija jalovišta raskrivke vršena je direktno u supstrat, a tom prilikom na dno sadne jame dodavana je određena količina zemljišnog materijala (TF Bor, 1987). Međutim, zbog pojave kiselih procednih voda na mestima bogatim piritnom rudom ovaj sloj predstavljao je svojevrsni 'sunder' koji je upijao procedne vode, istovremeno štiteći koren od njihovog dejstva, ali i gubeći svoju funkciju rezervoara hranljivih materija. Ozelenjavanje flotacijskih jalovišta vršeno je nakon dodavanja plodnog zemljišnog sloja prosečne debljine 10-30 cm. Sađene su sadnice sa ogoljenim korenovim sistemom, koje su podložnije oštećenjima usled isušivanja i neadekvatnog skladištenja i transporta od sadnica sa baliranim korenovim sistemom.

Obuka izvođača radova - svaki projekat rekultivacije treba da predvidi obuku učesnika u rekultivaciji, ali i širu informativno-edukativnu kampanju usmerenu na lokalno stanovništvo (Randelović et al., 2008). Borska jalovišta ozelenjavali su učesnici goranskih i omladinskih radnih akcija, osnovnih i srednjih škola, volonteri nevladinih organizacija, vojska, radnici šumarskih i komunalnih preduzeća, radnici industrijskih preduzeća i lokalno stanovništvo. Iako su projekti rekultivacije bili osmišljeni od strane eksperata naučnih i stručnih institucija, obuka neposrednih učesnika često je bila zapostavljena ili marginalizovana. Mozaičan raspored vegetacije, razlika u procentu pokrovnosti između delova koji su ozelenjavale različite institucije i visok mortalitet sadnica neposredno po sadnji samo su neke od vidljivih posledica.

3.3. *Uzroci i posledice u fazi nakon sprovođenja biološke rekultivacije*

Izostanak mera nege - nakon postupka biološke rekultivacije u Borskom rudničkom basenu nije bilo predviđeno dalje održavanje formiranih zasada. Nekolicina publikacija (Lilić et al., 2008) ukazuje na izostanak adekvatnih mera negovanja i propadanje posađenih biljaka. Inicijalne mere nege od velike su važnosti za kasniji prijem i razvoj posađenih vrsta.

Monitoring rekultivacije i naknadne intervencije - nakon biološke rekultivacije utvrđivan je procenat preživljavanja zasađenih vrsta u prvoj godini nakon sadnje. Dalja evaluacija ovih zasada kao i praćenje njihovog zdravstvenog stanja nisu bili predviđeni niti vršeni.

Odnos stanovništva prema rekultivisanom površinama - u odnosu lokalnog stanovništva prema rekultivisanim površinama uočljiv je visok stepen nebrige koji se ogleda kroz učestale divlje seče (slika 1c), ispaše, paljenja i uništavanja sadnica (Randelović et al., 2008).

Upravljanje rekultivisanim površinama - eksploatacija šumskih zasada na borskim jalovištima omogućava i činjenica da se oni u zvaničnim dokumentima

tretiraju kao gole, neozelenjene površine, pa stoga ne postoji plan njihovog korišćenja, niti adekvatna kontrola i zaštita. Od početka prvih radova na biološkoj rekultivaciji pa sve do danas, ne postoji poseban tretman rekultivisanih delova u rudarskom basenu Bor, što utiče na njihovu veličinu, stanje i zaštitnu ulogu koju vrše. U slučaju požara ili pojave fitopatogenih organizama, onemogućena je pravovremena reakcija na njihovu zaštitu.

Nedostatak strateške opredeljenosti i koncenzusa za intenzivno sprovođenje biološke rekultivacije - na nivou Lokalnog ekološkog akcionog plana Bora (Marjanović et al, 2003, TF Bor, 2013) rekultivacija rudničkih jalovišta tretirana je i prepoznata u okviru segmenta zagađenja vazduha, ali ne i ostalih elemenata sredine, poput vode i zemljišta. U prostornim planovima opštine Bor nema detaljnije predviđenih zadataka na rekultivaciji jalovišta. Prema navodima Randelovića et al. (2014), svega 13% ispitanika iz lokalne sredine smatra da pri rešavanju problema koje u životnoj sredini Bora izazivaju rudarstvo i metalurgija prednost treba dati rekultivaciji rudničkih jalovišta. Efikasnije rešavanje problema zahteva da se rudnički otpad i rekultivacija shvate i tretiraju kao jedan od strateških prioriteta kako na nivou opštine Bor, tako i na državnom nivou. Postoji razlika u stavovima stručne javnosti kada je u pitanju sagledavanje borskih jalovišta kao skladišta tehnogenih sirovina ili kao izvora zagađenja za okolnu sredinu. U tom smislu, jasnije sagledavanje i definsanje aspekata zelene ekonomije, čistije proizvodnje, cirkularne ekonomije i reciklaže uticalo bi na brže otklanjanje dilema oko rudničkih jalovišta kao potencijalnih tehnogenih sirovina.

Biološka rekultivacija u Boru sprovedena je parcijalno, na manjim površinama, bez kasnijeg održavanja i zasebnog tretiranja rekultivisanih površina. Sve ovo uslovalo je mozaičan raspored vegetacije na relativno maloj površini (svega 13,6% od ukupne površine predviđene za biološku rekultivaciju, prema Randelović, 2018), pa postojeći zasadi u vrlo ograničenoj meri vrše predviđene zaštitne i sanitarne funkcije: obnovu i pokretanje pedogenetskih procesa, uvećavanje priliva kiseonika i filtraciju čvrstih čestica, vezivanje mobilnih frakcija metala u podlozi i sprečavanje ili ograničavanje njihovog raznošenja u životnu sredinu. Iz ovog razloga, ogoljene površine jalovišta i dalje doprinose uvećanju istorijskog zagađenja na ovom području.

Na osnovu svega navedenog, biološka rekultivacija jalovišta u Boru predstavlja značajnu stavku u poboljšanju kvaliteta životne sredine čitavog područja. Na samim jalovištima neophodno je da biološka rekultivacija bude osmišljena i sprovedena u skladu sa pravilima struke, planirana kao dugoročan proces. Za postizanje zadovoljavajućeg uspeha prilikom rekultivacije moraju se dosledno sprovesti sve projektovane faze, uključujući i naknadne mere nege. Imajući u vidu dosadašnja iskustva, potrebno je posebno obratiti pažnju na izbor vrsta kojima bi se vršila biološka rekultivacija.

4. Zaključak

Uzroci delimične i nekompletno sprovedene biološke rekultivacije jalovišta u Boru javljaju se u fazama pripreme za rekultivaciju, izvođenja rekultivacije kao i nakon izvođenja rekultivacije. To su: način tehničke rekultivacije, neselektivno odlaganje rudničke otkrivke, kisele rudničke vode, ekotoksikološki faktori, aerozagađenje, kvalitet sadnog materijala i tehnologija sadnje, izvođenje biološke rekultivacije, odnos lokalnog stanovništva prema relutivisanim površinama, izostanak mera nege, izostanak mera monitoringa i naknadnih intervencija, neadekvatno upravljanje rekultivisanim površinama, kao i nedostatak strateške opredeljenosti i koncenzusa za sprovođenje biološke rekultivacije. Posledice ovakvog načina postupanja su: nizak procenat uspešno rekultivisanih površina, mozaičan razvoj vegetacije i ugroženost od strane antropogenog faktora, kao i dalja kontaminacija voda, vazduha i zemljišta u okolini.

Navedeni pregled ukazuje na kompleksnost izvođenja biološke rekultivacije i njenu zavisnost od mnogih parametara, ali i na decenijsku nebrigu za ove aspekte životne sredine. Potrebno je adresirati sve navedene uzroke prilikom planiranja radova na sanaciji istorijskog zagađenja u Boru, čije posledice utiču na mnogo šire područje. U isto vreme, potrebno je da svi učesnici u ovom procesu prihvate činjenicu da rekultivacija predstavlja bitnu zakonsku ali i društvenu obavezu povratka eksploatisanog područja u ekološki funkcionalno stanje, a ne samo formalni i finansijski zahtevan postupak.

Zahvalnica

Ovaj rad je finansiran u okviru projekta broj 176016 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Dožić S, M Đukić, G Bogdanović, R Stanojlović, S Lukić, D Đunisijević, I Bjedov, Novi pristup rekultivaciji starog flotacijskog jalovišta u Boru, *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 101 (2010) 3-48
- Li Y, Q Sun, J Zhan, Y Yang, D Wang, Vegetation successfully prevents oxidization of sulfide minerals in mine tailings, *Journal of Environmental Management*, 177 (2016) 153-160
- Lilić J, V Filipović, S Nešić, S Janošević, M Žikić, Biološka rekultivacija Polja 2 flotacijskog jalovišta Bor, *Reciklaža i održivi razvoj*, 1 (2008) 94-101.
- Lilić J, S Cupać, B Lalević, V Andrić, M Gajić- Kvašček, Pedological characteristics of open-pit Cu wastes and postflotation, tailings (Bor, Serbia), *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(1) (2014) 161-175.
- Marjanović T., Trumić M. i Lj. Marković. (ur.). Lokalni ekološki akcioni plan opštine Bor. Bor, Građanski forum. Bor: LEAP tim, LEAP kancelarija Bor, 2003.

Milijić Z., 1997. Jalovišta rudnika bakra, njihov uticaj na životnu sredinu i metode rekultivacije, *Naučno-stručna konferencija "Naša ekološka istina"*, pp. 58-66, Donji Milanovac, 08-12. jun, 1997.

Mudd G.M., J Patterson, Continuing pollution from the Rum Jungle U-Cu project: a critical evaluation of environmental monitoring and rehabilitation, *Environmental Pollution*, 158 (2010) 1252-1260

Randelović D, D Randelović, M Ratknić, Significance of education in reclamation activities, *Scientific and Professional Congress 'Ecological Truth'*, pp. 426-429, Soko Spa, June st-4th, 2008.

Randelović D, Reclamation methods and their outcomes in Serbian mining basins, *2nd International and 14th National Congress of Soil Society of Serbia*, pp. 40-48, Novi Sad, September 25th-28th, 2018.

RTB Bor, Istraživanje mogućnosti rekultivacije odlagališta jalovine napuštenih delova površinskog kopa 'Bor' i brane flotacijskog jalovišta, Knjiga I, Rudarsko-topioničarski basen Bor, Institut za bakar, 1986.

Službeni Glasnik RS, 19/06, Pravilnik o graničnim vrednostima, metodama merenja imisije, kriterijumima za uspostavljanje mernih mesta i evidenciji podataka

Stanković S, I Morić, A Pavić, B Vasiljević, DB Johnson, V Cvetković, Investigation of the microbial diversity of an extremely acidic metal-rich water body (Lake Robule, Bor, Serbia), *Journal of the Serbian Chemical Society*, 79 (6) (2014) 729-741.

Šumska sekcija Bor, Iskustvo u ozelenjavanju jalovišta i terasa površinskog kopa u Boru, RO ŠK 'Južni Kučaj' Zaječar, 1988.

TF Bor, Istraživanje mogućnosti rekultivacije odlagališta jalovine i napuštenih delova površinskih kopova RTB-a Bor, III godina istraživanja, Tehnički fakultet Bor, Univerzitet u Beogradu, 1987.

TF Bor, Lokalni ekološki akcioni plan opštine Bor 2013-2022 godina, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, 2013.

Žikić M, M Martinović, S Stojadinović, J Sokolović, D Tanikić, Reclamation of Veliki Krivelj mine waste dump Saraka Potok – successfulness analysis, *Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development*, pp. 184-188., Bor, September 13th-15th, 2017.