

JASMINA LILIĆ<sup>1</sup>, VESNA FILIPOVIĆ<sup>1</sup>,  
MIROSLAV GRUJIĆ<sup>1</sup>, MIODRAG ŽIKIĆ<sup>2</sup>,  
SAŠA STOJADINović<sup>2</sup>

Stručni rad  
UDC:622.763'17:502.37(497.11)0861

## Rekultivacija brane 3A flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj

*Prilikom flotiranja rude bakra u okviru rudnika Veliki Krivelj, kod Bora, stvara se nus proizvod koji se zove flotacijska jalovina i ona se kao otpadni materijal iz flotacije odlaže na posebno za to određeno mesto u industrijskom krugu. Tako je nastalo flotacijsko jalovište Veliki Krivelj, koje je i danas u funkciji.*

*Područja koja su degradirana flotacijskom jalovinom nekada su bila očuvana u neporemećenom ekosistemu. Sada se ova područja moraju rekultivisati, što je dugotrajan i skup proces, jer podležu zakonskoj regulativi iz oblasti rekultivacije degradiranih površina iz Zakona o rudarstvu.*

*Odlaganjem flotacijske jalovine u dolini Kriveljske reke, degradirano je 395 ha plodne zemlje opštine Bor.*

**Ključne reči:** flotacijska jalovina, degradirana površina, rekultivacija, životna sredina.

### UVOD

Flotacijska jalovišta postaju izvori zagađivanja ne samo zbog degradiranja područja gde je jalovište locirano, već i zbog podizanja prašine koja zagađuje vazduh i raznosi se na okolno zemljište, zbog spiranja flotacijskog materijala putem kiše, prodora zagađene vode i njeno odvođenje u vodotokove.

Flotacijsko jalovište Veliki Krivelj sastoji se od dva simetrična jalovišta, što je prikazano na slici 1. To su staro- polje 1 i novo- polje 2 flotacijskog jalovišta. Oba su pregrađena flotacijakim branama 1A, 2A i 3A.

Imajući prethodno u vidu, osnovni cilj ovog rada je izbor metoda rekultivacije brane 3A flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj. Dosadašnja iskustva na rekultivaciji ovog degradiranog područja nisu dala zadovoljavajuće rezultate. Zato je značajno rekultivaciju uraditi postepeno, fazu po fazu, što iziskuje dugogodišnji naporan rad koji vodi uspehu.

### METODE

Rad na skladiranju flotacijske jalovine je složen posao. Flotacijska jalovina se iz flotacije odprema betonskim kanalima ili cevima do hidrociklonskih stanica na peščanoj brani flotacijskog jalovišta. Hidrocikloniranjem jalovine izdvaja se

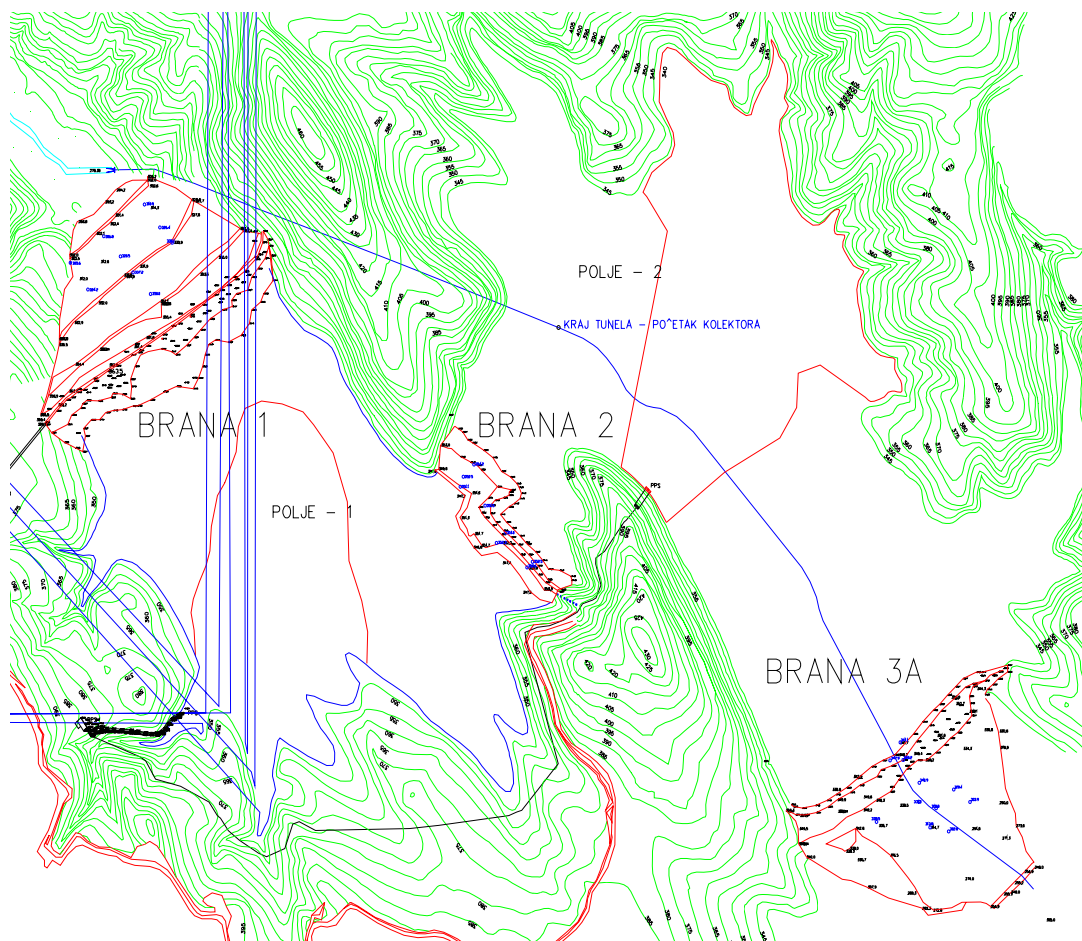
pesak iz pulpe i tako nasipava brana do projektovane kote. Sitan mulj i voda odvođe se do jezera flotacijskog jalovišta cevima, da se ne bi erodirala brana. Izbistrena voda se iz jezera vraća pomoću pumpi u proces kao tehnološka voda, a oko samog jezera formirane su plaže od mulja iz pulpe.

Na brani 3A i polju 2 flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj preovlađuje ujednačeni materijal. Po morfologiji materijal se sastoji od 74 % sitnog i 19% krupnijeg peska i 7 % glinenih čestica. Ovakav granulometrijski sastav uslovljava loš vodno – vazdušni režim i spada u glavne limitirajuće faktore za razvoj biljaka u supstratu. Na pojedinim mestima na brani gde procesi oksidacije sumpora nisu odmakli, flotacijska jalovina ima vrednost pH oko 6. Na mestima gde je došlo do procesa oksidacije, pH vrednost supstrata iznosi oko 3 [1].

Zbog navedenih pedoloških osobina, supstratu se mora dodati zemlja kao osnova za uspešno izvođenje biološke rekultivacije. Čestice gline i zemlje u flotacijskoj jalovini služe za aktiviranje rada zemljišne mikroflore i pokretanje pedoloških procesa u pravcu stvaranja humusa i pristupačnih elemenata za ishranu biljaka.[2]

Na novom flotacijskom jalovištu Veliki Krivelj degradirane površine su: brana 3A i ravne površine stvorene zapunjavanjem prostora polja 2. Najveći deo ravne površine polja 2 je pod vodom, dok se suvi delovi nalaze prema brani 2A i brani 3A i nazivaju se “plažama”. One nemaju definitivni izgled zbog nivoa vode u jezeru koji je promenljiv, jer se ta voda koristi kao tehnološka voda u procesu flotiranja rude.

Adresa autora: <sup>1</sup>RTB Bor Grupa RBB Bor DOO, <sup>2</sup>Tehnički fakultet u Boru



Slika 1 - Situaciona karta rasporeda brana i polja

Kose površine novog flotacijskog jalovišta formirane su izgradnjom brane 3A i sastoje se od unutrašnje kosine brane, prema polju 2 i spoljašnje kosine brane, prema selu Oštrelj. Kose površine na brani 3A imaju konačan oblik jer je brana dostigla projektovanu kotu i nije više u procesu eksploatacije.

U svetu i kod nas poznate su tri kategorije rekultivacije i to:

- autorekultivacija,
- polurekultivacija,
- rekultivacija.

Autorekultivacija je vid samoobnavljanja biljnih vrsta bez čovekove intervencije na površinama degradiranim rudarskim ili drugim ljudskim aktivnostima. Ovaj vid rekultivacije vremenski dugo traje. Na novostvorenim degradiranim površinama flotacijskih jalovišta u RTB-u Bor nema uslova za razvijanje autorekultivacije jer flotacijska jalovina ne sadrži potrebnu količinu glinenih čestice i organske materije.

Polurekultivacija se odnosi na obnavljanje degradiranih prostora uz učešće čoveka u fazi biološke rekultivacije. Za ovaj vid rekultivacije na flotacijskim jalovištima takođe nema uslova.

Rekultivacija je proces koji se sastoji od dve faze i podrazumeva sprovođenje:

- tehničke i
- biološke rekultivacije.[2]

Uspeh celokupne rekultivacije zavisi isključivo od čoveka. Rekultivacija je u ovom slučaju najpouzdaniji vid obnavljanja novostvorenih degradiranih površina. Zbog nepovoljnih pedoloških osobina podloge, rekultivacija brane 3A sastoji se od obe navedene faze koje su podjednako važne za ponovno uspešno uspostavljanje ekosistema.

Pripremni radovi na brani podrazumevaju ravnjanje krune brane i unutrašnje kosine, izradu pristupnih puteva, rezanje zemlje iz pozajmišta, njen utovar i transport do jalovišta i samo kopanje jama za sadnice.

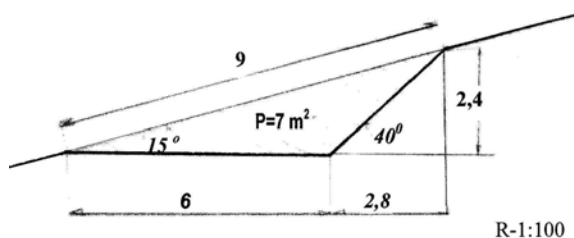
Tehnička rekultivacija je sledeći korak značajan za revitalizaciju ovog područja i obuhvata zasecanje terasa na spoljašnjoj kosini brane i planiranje zemlje na završnim ravnama odlagališta. Terasiranje kosine ima za cilj stvaranje uslova za realizaciju biološke rekultivacije. Terasiranje se ne radi tamo gde su nagibi terena manji od 8 % i preko 70%. [2] Znači da je i sam izbor širine terasa usko povezan sa nagibom terena. U slučaju brane 3A nagib kosine je blag i iznosi 27 % što znači da se na brani mogu narezivati široke terase. Nagib terasne ravni prema unutrašnjoj kosini iznosi 3-5 % i ima za cilj da prihvati atmosferske vode koje poniru u tlo i kao takve ne eroduju vrh terase prema spoljašnjoj kosini.

Hidroiklonirani pesak na brani 3A ima nepovoljne pedološke osobine jer nedostaju glinene čestice i organske materije, koje bi aktivirale rad zemljišne mikroflore i pokrenula pedološke procese. Iz tih razloga je neophodno navoženje zemlje po površini u sloju od najmanje 10 cm. Unošenjem organskih i mineralnih materija u flotacijsku jalovinu omogućava se kontinuirani priliv biljnih asimilatativa za razvoj travnog pokrivača i drveća što već pripada biološkoj rekultivaciji.

## REZULTATI

Postupnom analizom svake navedene faze, sa svim dimenzijama i proračunima, utvrđen je način izvođenja rekultivacije brane 3A, za koji se procenjuje da je adekvatan.

Krunu brane treba poravnati da bi se na njoj izveo bilo kakav sledeći rad. Kosine su specifične za izvođenje rekultivacije jer se na njima narezuju terase. Nagib spoljnjne kosine brane je  $15^\circ$  (27 %) što je ograničavajući faktor kao i struktura podloge za širinu narezivanja terasa. Na slici 2 dat je poprečni presek narezane terase sa svim dimenzijama.



Slika 2 - Poprečni presek narezane terase

Zasecanje terasa na kosinama jalovilišta izvođiće se buldozerom od vrha do podnožija kosine. U zavisnosti od položaja pluga buldozera u odnosu na etažnu ravan pri zasecanju terasa, buldozer se koristi kao angldozer i tildozer. Zasecanje se izvodi

tako što se plug angldozera spušta i zariva u tlo pod uglom u odnosu na horizontalnu ravan i odvaja rez debljine od 20 – 90 cm s obzirom da se radi o nasipanom materijalu. Odvojeni materijal se skuplja ispred pluga obrazujući vučnu prizmu manju po širini od širine pluga buldozera i pošto je plug zakošen, materijal se bočno odbacuje od pluga i odlaze se niz kosinu jalovilišta.

Izradom terasa usporava se oticanje površinskih voda, čime se umanjuje površinska erozija, menja se mikroekspozicija čime se stvaraju povoljniji mikroklimatski uslovi, posebno vlaga i temperatura što obezbeđuje sigurniji uspeh biološke rekultivacije.

Na nagibu spoljašnje kosine brane, čija je visina od krune do stope 90 m, narezaće se osam terasa istih dimenzija, a između njih formiraće se devet kosina. Svaka terasa je širine 6m, a visinska razlika između dve terase je 10 m.

Ovaj proces narezivanja terasa je dugotrajan i izvođiće se četiri godine u kontinuitetu. Dinamika izvođenja radova po godinama prikazana je u tabeli broj 1. Posle navedenih aktivnosti treba ostaviti rastresitu podlogu godinu dana da se konsoliduje i pripremi za sledeću etapu radova. U tabeli broj 2 date su površine koje se rekultivišu kao i količine zasečenog materijala pri formiranju terasa, koje se bočno odbacuju plugom i odlazu planiraju niz kosinu jalovilišta, do pozicije zasecanja naredne terase. Odložena jalovina podiže nivo kosine za oko 24 cm, ali to nema nikakvog uticaja jer se slegne za dva do tri meseca.

Transport zemlje sa pozajmišta prema dinamici izvođenja rekultivacije vrši se najpre po ivici krune brane prema unutrašnjoj kosini. Istovar zemlje iz kamiona vrši se kipanjem bočno. Posle nasipavanja unutrašnje kosine brane nastavlja se transport zemlje sa istog pozajmišta na ravnu površinu krune brane. Istovar iz kamiona vrši se kipanjem unazad u vidu gomila u više paralelnih horizontalnih redova a zatim se razastire ravnomerno po celoj površini. Zemlja za ubacivanje u jame transportuje se i kipa po kruni i terasama otvaranjem bočne stranice korpe prema spoljašnjoj kosini na ivicu terase. Količina zemlje iz pozajmišta kao i način njenog korišćenja prikazani su takođe u tabeli 2.

Biološka faza rekultivacije predstavlja ozeleňavanje površina u cilju stabilizacije nagiba, sprečavanja erozije i popravke zemljišta, a ne treba zanemariti ni estetsku vrednost zelenih površina. Flotacijsko jalovište je veštačka tvorevina sa veoma lošim osobinama za rast i razvoj biljaka tako da je izbor vrsta za njegovu popravku jako ograničen.

Tabela 1 - Dinamika izvođenja radova

Vreme (god)	Pozicija	TRETMAN			
		Rezanje materijala	Razastiranje materijala	Planiranje zemlje	ozelenjavanje
1.	Unutrašnja kosina	-	+	+	-
	Kruna brane	-	+	+	+
	Spoljna kosina -0	-	+	+	+
	I terasa	+	-	+	+
	I kosina	-	+	+	+
	II terasa	+	-	+	+
	II kosina	-	+	-	-
2.	II kosina	-	-	+	+
	III terasa	+	-	+	+
	III kosina	-	+	+	+
	IV terasa	+	-	+	+
	IV kosina	-	+	-	-
3.	IV kosina	-	-	+	+
	V terasa	+	-	+	+
	V kosina	-	+	+	+
	VI terasa	+	-	+	+
	VI kosina	-	+	-	-
4.	VI kosina	-	-	+	+
	VII terasa	+	-	+	+
	VII kosina	-	+	+	+
	VIII terasa	+	-	+	+
	VIII kosina	-	+	+	+

Tabela 2 - Količine narezanog materijala sa jalovišta i zemlje iz pozajmišta

Pozicija	Širine ravni (m)	dužine ravni (m)	Površine ravni (m <sup>2</sup> )	Površine kosina (m <sup>2</sup> )	Zapremine narezivanja (m <sup>3</sup> )	broj jama (kom.)	Količina zemlje iz pozajmišta (m <sup>3</sup> )	
							Rasplanirana (sloj 10 cm)	Dodata u jame
Unutrašnja kosina				7400			740	
Kruna	20	740	14800			3289	1480	411
Spoljna kosina-0				21300			2130	
I terasa	6	680	4080		4760	907	480	133
I kosina				19500			1950	
II terasa	6	610	3660		4270	813	366	102
II kosina				17700			1770	
III terasa	6	550	3300		3850	733	330	92
III kosina				15750			1575	
IV terasa	6	480	2880		3360	640	288	80
IV kosina				13650			1365	
V terasa	6	420	2520		2940	560	252	70
V kosina				11550			1155	
VI terasa	6	360	2160		2520	480	216	60
VI kosina				9600			980	
VII terasa	6	300	1800		2100	400	180	50
VII kosina				7800			780	
VIII terasa	6	240	1440		1680	320	144	40
VIII kosina		170		6000			600	
<b>Ukupno</b>							<b>16689</b>	<b>1038</b>
<b>UKUPNO</b>							<b>17727</b>	

Rekultivacija se obavlja sadnjom breze i setvom travno-leguminozne smeše, zbog njihovih pogodnih osobina.

Breza ( *Betula pendula* ) je izrazito pionirska vrsta. Brzo raste pa brzo i pokriva голу površinu podloge. Lako se prirodno obnavlja, dobro podnosi siromašna zemljišta kisele reakcije koja svojim opalim lišćem i grančicama popravlja, stvarajući humus. Otporna je na niske i visoke temperature i na vetar. Pravi veoma slabu senku koja ne smeta travama.[3, 4]

Trave i leguminoze veoma brzo vezuju podlogu, stabilizuju je i sprečavaju raznošenje čestica jalovine na okolinu. Leguminoze kao azotofiksatori omogućavaju usvajanje nepristupačnog azota iz atmosfere i prevode ga u pristupačan oblik za biljku. Udeo leguminozne komponente u smeši treba da bude 30 % pokrovne vrednosti [5].

Sastav leguminoza i trava, i njihovo parcijalno učešće u ukupnoj količini semena, iznosi:

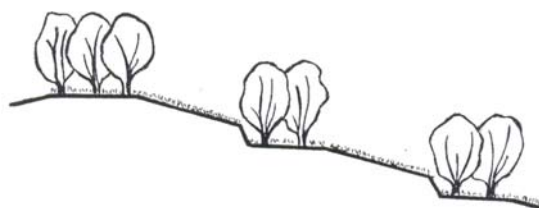
- žuti zvezdan (*Lotus corniculatus*), 10%
- crvena detelina (*Trifolium pratense*), 10 %
- lucerka (*Medicago sativa*), 10 %
- italijanski ljulj (*Lolium multiflorum*) 35 %
- engleski ljulj (*Lolium perenne*) 35 %

Biološka rekultivacija brane 3A flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj se odvija postepeno u trajanju od četiri godine. Dinamika izvođenja prikazana je u tabeli 3. Na ravnim površinama su zasade sadnice i posejana travno-leguminozna smeša, a na kosinama je travno-leguminozna smeša. Deo profila brane 3A posle rekultivacije prikazan je na slici 3.

Tabela 3 - Pregled potrebnog materijala za biološku rekultivaciju brane 3A

Pozicija	površine ravni (m <sup>2</sup> )	površine kosina (m <sup>2</sup> )	breza (kom)	Travno-leg. smeša (kg)	NPK (kg)	Stajnjak, (kg)
Kruna	14800		3289		1233	6578
Spoljna kosina-0		21300		745	1065	
I terasa	4080		908		340	1814
I kosina		19500		683	975	
II terasa	3660		813		305	1626
II kosina		17700		620	885	
III terasa	3300		733		245	1466
III kosina		15750		551	787	
IV terasa	2880		640		240	1280
IV kosina		13650		478	683	
V terasa	2520		560		210	1120
V kosina		11550		404	577	
VI terasa	2160		480		180	960
VI kosina		9600		336	480	
VII terasa	1800		400		150	800
VII kosina		7800		273	390	
VIII terasa	1440		320		120	640
VIII kosina		6000		210	300	
Ukupno			8142	4300	9165	16284

Sadnja se obavlja u jame koje se kopaju na jednakim rastojanjima po pravougaonom rasporedu na rastojanju u redu od 1,5 m a između redova od 3 m. Ovakvo rastojanje omogućuje prolazak mehanizacije. Potreban broj sadnica je 2 222 po hektaru. Jame su prečnika i dubine 50 cm, a pune se zemljom kojoj je dodat stajnjak u količini od 2 kg i NPK (15:15:15 ) u količini od 50 gr po sadnici. Razlaganje organske materije zahteva duži period pa je zato potrebno dodati mineralno đubrivo NPK. Za sadnju se koriste dvogodišnje ili trogodišnje sadnice breze sa golim korenovim sistemom.



Slika 3 - Raspored biljaka na brani 3A

Naga mladih sadnica se sastoji od okopavanja i prašenja. Okopavanje se vrši u cilju uništavanja korova. Obavlja se u prve tri godine nakon sadnje,

čim korov dovoljno poraste i počne da smeta biljci. Prašenje se obavlja u cilju razbijanja pokorice, čime se smanjuje isparavanje zemljišne vlage iz dubljih slojeva i poboljšava aeracija. Prašenje se obavlja plitko, na nekoliko cm dubine i samo oko sadnice na 20-30 cm blagim prigrtanjem zemlje ka biljci [3]. U prve dve godine nakon sadnje prilikom okopavanja uneti po 50 gr NPK po sadnici. U slučaju da je sušenje biljaka nastupilo u grupi preko 20 % vrši se popunjavanje. Sa popunjavanjem se počinje u drugoj godini života kulture, sadnicama istog uzrasta kao i vrsta u kulturi. Popunjavanje se vrši u proleće, sadnjom u jame.

Setva travno-leguminozne smeše se obavlja u proleće, posle sadnje breze. Potrebno je 350 kg semena po hektaru. Nakon setve površina se uvalja i tretira NPK đubrivom (15:15:15 ) u količini od 500 kg/ha. Zatim se zasejana površina zalije. U tabeli 3 je prikazana potrebna količina đubriva, sadnog i setvenog materijala za biološku rekultivaciju svih površina brane 3A.

Prilikom nabavke sadnog materijala, birati samo najkvalitetniji, a broj sadnica uvećati za 10 % zbog oštećenja koja mogu da nastanu u toku transporta i manipulisanja sadnicama prilikom sadnje.

Biološka rekultivacija brane 3A flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj podizanjem naizmjeničnih pojaseva trave i drveća ima za cilj da spreči raznošenje prašine na useve, zemljište, vazduh i vodu i time trajno zaštiti životnu okolinu.

## ZAKLJUČAK

Degradirane površine nastale kao posledica jednovjekovnih rudarskih radova u Boru i okolini u mnogome ugrožavaju životnu sredinu. Do sada je bilo više pokušaja da se one rekultiviraju ali ni jedan

od njih nije dao zadovoljavajuće rezultate. Pre svega zbog toga što nije sprovedena odgovarajuća analiza i potpuna rekultivacija koja podrazumeva višegodišnje održavanje formiranih zasada, sve do stadijuma nakon koga oni mogu sami da se razvijaju.

Pošto flotacijska jalovišta direktno ugrožavaju okolinu, pre svega, eolskim raznošenjem peska sa njih ovim radom je definisan kompletan postupak rekultivacije Brane 3A na flotacijskom jalovištu površinskog kopa Veliki Krivelj.

Posebno se ističe da je proces rekultivacije dinamički analiziran što znači da je pored izbora odgovarajućeg zasada definisano i vreme izvođenja pojedinih radova, odnosno faza.

Realizacija predloženog postupka podrazumeva da radovi na rekultivaciji idu naniže, od krune brane prema podnožju, čime prethodna faza štiti narednu od erozije i omogućava nesmetan razvoj zasada.

Imajući u vidu da rekultivacija traje više godina iskustva stečena na početku mogu da se implementiraju u naredne faze i učine ih efikasnijim.

## REFERENCES

- [1] Projektna dokumentacija RBB-a, at all
- [2] Spalevic, B. (1997): Konzervacija zemljišta i voda. 163-165, 229-230, 245-250, 256-280
- [3] Stilinović, S. (1991): Pošumljavanje. at all
- [4] Vukićević, E. (1982): Dekorativna dendrologija. 97-100, 118-120, 241-243, 161-167
- [5] Lazarević, D.; Stošić, M. (2003): Zasnivanje i korišćenje sejanih travnjaka 307-310

## ABSTRACT

*Byproduct of the copper ore flotation within the processing plant at Veliki Krivelj open pit mine are the tailings. Tailings are disposed on a special place near the processing plant. This disposal created the tailings waste dump Veliki Krivelj, which is used up to date.*

*The area degraded by tailings disposal once had preserved and undisturbed ecosystems. Today these areas must be rehabilitated which is long and expensive process regulated by the Serbian mining law.*

*The disposal of tailings degraded 395 ha of fertile soil in the municipality Bor.*

**Key words:** *tailings, degraded area, rehabilitation, environment.*