

**UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET**

JASMINA A. LILIĆ

**UTICAJ REKULTIVACIJE NA
KARAKTERISTIKE TEHNOSOLA
RUDNIKA BAKRA BOR**

DOKTORSKA DISERTACIJA

BEOGRAD, 2015. god.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF AGRICULTURE

JASMINA A. LILIĆ

**IMPACT OF RECULTIVATION ON THE
TECHNOSOL CHARACTERISTICS IN
BOR COPPER MINE**

DOCTORAL DISSERTATION

BELGRADE, 2015.

UNIVERZITET U BEOGRADU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET

MENTOR:

Dr Nevenka Đurović, vanredni profesor
Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Mirko Nedić, docent,
Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Blažo Lalević, docent,
Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Jasmina Stevanović, naučni savetnik Instituta za hemiju,
tehnologiju i metalurgiju u Beogradu

Dr Željko Dželetović, naučni saradnik Instituta za primenu
nuklearne energije u Beogradu

Datum odbrane: _____

Izjava zahvalnosti

Zahvaljujem dekanu i prodekanima, mentoru i svim članovima komisije na velikoj pomoći i podršci da se ovaj višegodišnji rad na izradi doktorske disertacije privede kraju.

Takođe zahvaljujem svima koji su mi na bilo koji način pomogli pri izradi disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem mojoj porodici koja mi uvek daje snagu i sigurnost u životu i čija mi je ljubav pomogla da istrajem u svom radu do kraja.

Neizmernu zahvalnost dugujem mojim roditeljima Jovanki i Andreji Dragašanović, koji su mi pokazali put kojim treba ići i koji su moja najveća podrška u životu.

Jednom rečju, zahvaljujem svima koji su verovali u mene i u moj rad.

Autor

UTICAJ REKULTIVACIJE NA KARAKTERISTIKE TEHNOSOLA RUDNIKA BAKRA BOR

Rezime

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije su posledice primenjenih mera rekultivacije na karakteristike zemljišta kopovskog jalovišta "Visoki planir" i flotacijskog jalovišta "Polje 2", rudnika bakra Bor.

Rudarska jalovišta degradiraju površine na koje se odlažu i sadrže manje ili veće količine toksičnih materija koje ih čine nepogodnim za rast biljaka. S druge strane, te štetne materije mogu vetrom i vodom dospeti i u druge delove životne sredine. Da bi se smanjio rizik od zagađenja životne sredine i degradirane površine privede korisnoj nameni, primenjuju se različite metode rekultivacije. U tom cilju je na jalovištima rudnika bakra Bor izvedena rekultivacija: na jednom delu kopovskog jalovišta "Visoki planir" od 1979. do 1998. godine zasađena su stabla više vrsta listopadnog drveća, dok na drugom delu jalovišta nije primenjena rekultivacija. Na jedan deo flotacijskog jalovišta "Polja 2" 1991. godine nanesen je zemljišni materijal iz pozajmišta. Na preostalom delu tog drugog jalovišta takođe nije izvršena rekultivacija.

Osnovni cilj istraživanja ove doktorske disertacije je utvrđivanje promena u karakteristikama površinskog sloja kopovskog i flotacijskog jalovišta koje su nastale kao posledica primene mera rekultivacije pre 20-30 godina. Cilj ove disertacije je i to, da se na osnovu istraživanja promena u zemljištu pod uticajem mera rekultivacije i zasađena listopadnog drveća na kopovskom jalovištu "Visoki planir" kao i na osnovu istraživanja uticaja primenjenih mera rekultivacije nanošenjem zemljišnog materijala iz pozajmišta na flotacijskom jalovištu "Polje 2" donesu relevantni zaključci o uticaju pomenutih mera na zemljište na rudarskim deponijama i da se na osnovu utvrđenih promena donesu zaključci o opravdanosti primene navedenih mera rekultivacije, kao i predlog mera zaštite i rekultivacije zemljišta u narednom periodu.

Istraživanja zemljišta su izvedena na pedološkim profilima i pojedinačnim površinskim uzorcima zemljišta. Otvorena su 4 reprezentativna profila do dubine od 100

cm (po dva na svakoj od gore pomenutih površina), opisani su pedogenetski faktori i ekto i endomorfološke osobine zemljišta. Uzeti su uzorci zemljišta u narušenom i nenarušenom stanju za laboratorijska ispitivanja. Na oba ispitivana jalovišta uzeto je po 30 pojedinačnih uzoraka dubine 0-25 cm, sa rekultivisanog i nerekulativisanog dela, na rastojanju od oko 30 m. Zbog bolje ocene stanja zemljišta na nerekulativisanom, a naročito na rekultivisanom delu oba jalovišta, vršeno je njegovo poređenje sa prirodnim okolnim zemljištima. Za poređenje sa zemljištima kopovskog jalovišta uzeto je pet pojedinačnih površinskih uzoraka (0-25 cm dubine) iz prirodnih zemljišta u okolini kopovskog jalovišta. Za poređenje sa zemljištima flotacijskog jalovišta uzeto je pet pojedinačnih površinskih uzoraka (0-25 cm dubine) iz prirodnih zemljišta u okolini naselja Novi gradski centar u Boru. Pri izgradnji pomenutog naselja skidan je površinski sloj koji je poslužio za rekultivaciju flotacijskog jalovišta, rekonstrukcijom površinskog sloja. Kontrolni uzorci prirodnog zemljišta su uzeti po pravoj liniji na rastojanju od oko 100 m.

Rezultati laboratorijskih istraživanja su pokazali da na nerekulativisanim površinama nije došlo do odvijanja tzv. "spontane" pedogeneze. Na kopovskom i flotacijskom jalovištu nije primećeno obrazovanje raspoznatljivog površinskog sloja koji sadrži *in situ* obrazovan humus, verovatno zbog male starosti (20-30 godina), slabo razvijenog biljnog pokrivača, malo organskih ostataka i nepovoljnih ostalih uslova u zemljištu. Osnovni problem je onemogućeno spontano širenje vegetacije na nerekulativisanim površinama zbog njihovih loših fizičkih i hemijskih karakteristika.

Rezultati istraživanja ukazuju na to da sprovedene mere rekultivacije na kopovskom jalovištu nisu dovele do značajnog poboljšanja fizičkih, hemijskih i mikrobioloških karakteristika zemljišta.

Sprovedene mere rekultivacije na flotacijskom jalovištu su značajnije uticale na poboljšanje fizičkih (povećan sadržaj gline, povoljnije strukturne karakteristike) i hemijskih karakteristika (veći sadržaj humusa i CEC), ali ne i mikrobioloških karakteristika u poređenju sa nerekulativisanim delom jalovine. Sadnja drveća i sejanje trave na flotacijskom jalovištu, koje nisu pratile adekvatne mere nege podignutih zasada u dužem vremenskom periodu, nije rezultiralo značajnijim razvojem vegetacije, što je imalo za posledicu smanjen priliv organskih ostataka u zemljište. To je dalje

onemogućilo očuvanje karakteristika zemljišta formiranih rekultivacijom, odnosno sprečilo dalje poboljšanje karakteristika zemljišta.

Nakon 20-tak godina od sprovođenja rekultivacije na flotacijskom jalovištu došlo je do degradacije nanetog zemljišnog materijala u smislu kvarenja strukture zemljišta, smanjenja sadržaja humusa i pogoršanja njegovog sastava u pravcu povećanja sadržaja fulvo kiselina i širenja odnosa huminskih i fulvo kiselina. Do ovih rezultata se došlo poređenjem ispitivanog zemljišta sa jalovišta sa kontrolnim prirodnim zemljištem. Degradacija zemljišta na rekultivisanom flotacijskom jalovištu posledica je slabog razvoja vegetacije usled nedovoljne nege introdukovanih biljnih vrsta u dužem periodu. Drugi razlog degradacije je nanošenje jalovine vetrom sa nerektivisanih delova flotacijskog jalovišta, jer rekultivacija nije obuhvatila celokupnu površinu jalovišta, već je izvedena samo parcijalno.

Na osnovu utvrđenih efekata do sada sprovedenih mera rekultivacije i rezultata laboratorijskih ispitivanja zemljišta sa oba jalovišta predlažu se tehničke i biološke mere rekultivacije čijom primenom bi se prevazišli postojeći problemi narušene životne sredine industrijskom proizvodnjom.

Ključne reči: rudnik bakra, kopovsko jalovište, flotacijsko jalovište, rekultivacija, karakteristike zemljišta, tehnosoli.

Naučna oblast: Biotehničke nauke

Uža naučna oblast: Melioracije zemljišta

UDK:

IMPACT OF RECULTIVATION ON THE TECHNOSOL CHARACTERISTICS IN BOR COPPER MINE

Summary

The subject of this doctoral dissertation is the consequence of the applied recultivation actions on the characteristics of the soil in the open pit tailings dump "Visoki planir" and flotation tailings dump "Field 2", in Bor Copper Mine.

Mining tailing dumps degrade the surface where they are being disposed and contain bigger or smaller quantities of toxic material which make them inadequate for plant growth. On the other hand, those hazardous materials can be carried by wind or water to other parts of environment. In order to decrease the risk of environmental pollution and transform the degraded areas into useful ones, different recultivation methods are applied. Accordingly, recultivation has been conducted in the tailing dumps of Bor Copper Mine: in one part of the open pit tailing dump "Visoki planir" from 1979 to 1998, several types of deciduous trees were planted, while in another part of the dump no recultivation has been conducted. In 1991, one part of the flotation tailing dump "Field 2" was backfilled with soil from a borrow pit. In 1991. In the remaining part of the second tailing dump, there has also been no recultivation.

The basic aim of the research in this doctoral dissertation is determination of the changes in the characteristics of the open pit and flotation tailing dumps surface layer which were created as a result of the recultivation conducted 20-30 years ago. The aim of this dissertation is to, based on the researches of the changes in soil as impacted by recultivation and planting of deciduous trees in the open pit tailing dump "Visoki planir" as well as based on the researches of the impact of the applied recultivation actions by backfilling the flotation tailing dump Field 2, make relevant conclusions on the impacts of the aforementioned actions against the soil in mining dumps and to make conclusions, based on the determined changes, on the adequacy of the aforementioned recultivation actions, as well as a proposal for soil protection and recultivation in the upcoming period.

The soil researches were conducted on pedological profiles and individual surface soil samples. Four representative profiles were opened up to the depth of 100 cm (two

on each of the aforementioned areas), pedogenetic factors were described and ecto as well as endo morphological soil characteristics. Soil samples were taken in disturbed and undisturbed conditions for laboratory testings. In both tailing dump testings, 30 individual samples were taken with the depth 0-25 cm, from both recultivated and non-recultivated parts, at the distance of around 30 m. In order to obtain better assessment of the condition of the soil from non-recultivated, and especially recultivated part of both tailing dumps, the soil was compared to the natural surrounding soils. For the purpose of comparing it with the soil from the open pit tailing dump, five individual samples were taken (0-25 cm depth) from the natural soils surrounding the open pit tailing dump. For the purpose of comparing the soil from the flotation tailing dump, five individual surface samples were taken (0-25 cm depth) from the natural soils surrounding the residential area Novi gradski centar in Bor. During the construction of the aforementioned residential area, the surface layer was removed and it was used for recultivation of the flotation tailing dump, by reconstruction of the surface layer. Control samples of natural soil were taken straight line with the distance of around 100m.

The lab testing results showed that there was no segregation of the so called spontaneous pedogenesis in the non-recultivated areas. In the open pit and flotation tailing dumps, there was no formation of a noticeable surface layer which contains *in situ* created humus, probably because of the fact that it was not too old (20-30 years), because of the poorly developed plants, small quantity of organic remainders and adverse other conditions in the soil. The basic problem is the inability of spontaneous expansion of vegetation in the non-recultivated areas due to their adverse physical and chemical properties.

The conducted recultivation measures in the open pit tailing dump did not result in a significant improvement of physical, chemical and microbiological characteristics of soil.

The conducted recultivation measures in the flotation tailing dump has a more significant impact on the improvement of physical (increased clay content, more favourable structural properties) and chemical properties (higher humus content and CEC), however, not of microbiological properties in comparison to the non-recultivated part of the tailings. Planting of trees and grass in the flotation tailing dump, which was

not followed by adequate care of the plants in a longer period of time, did not result in a more significant vegetation development, which resulted in a decreased inflow of organic remainders into the soil. That, further, prevented maintenance of the soil characteristics formed through recultivation, i.e. it prevented further improvement of soil properties.

After around 20 years from the recultivation in the flotation tailing dump, there appeared degradation of the backfilled soil material in the sense that the soil structure was damaged, the content of humus decreased and its content deteriorated toward an increase of fulvo acids and expansion of the ratio of humic and fulvo acid. These results were obtained through comparison of the tested soil from the tailing dump with the control natural soil. Soil degradation in the recultivated flotation tailing dump is a consequence of the poor development of vegetation due to insufficient care of introduced plant species for a longer period of time. The other reason is that tailing was carried by wind from the non-recultivated parts of the flotation tailing dump, since the recultivation did not cover the entire tailing dump area, but it was only partially conducted.

Based on the determined effects of the so far conducted recultivation measures and the lab results for testing of soil from both tailing dumps, technical and biological recultivation measures are being proposed whose application would enable overcoming the current problems with regards to the disturbed environment by industrial operations.

Key words: copper mine, open pit tailing dump, flotation tailing dump, recultivation, soil properties, technosols

Scientific field: Biotechnical sciences

Research area: Land reclamation

UDC:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	4
2.1. Degradacija prostora kao posledica rudarenja	4
2.2. Rekultivacija degradiranih površina	6
2.3. Moguće tehnike rekultivacije	8
2.4. Primeri savremenih rekultivacija	13
2.5. Zemljišta degradiranih prostora	19
2.6. Degradacija zemljišta površinskom eksploatacijom i njihova rekultivacija u Srbiji	21
3. MATERIJAL I METODE	27
3.1. Područje istraživanja	27
3.1.1. Klima	27
3.1.2. Karakteristike jalovišta	31
3.1.2.1. Kopovsko jalovište	33
3.1.2.2. Flotacijsko jalovište	36
3.2. Terenska istraživanja zemljišta	38
3.3. Laboratorijska istraživanja zemljišta	42
3.4. Statistička obrada podataka	44
4. REZULTATI	45
4.1. Kopovsko jalovište “Visoki planir”	45
4.1.1. Morfološke karakteristike kopovskog jalovišta	45
4.1.2. Fizičke karakteristike kopovskog jalovišta	50
4.1.3. Hemijske karakteristike kopovskog jalovišta	54
4.1.4. Mikrobiološke karakteristike kopovskog jalovišta	58
4.1.5. Poređenje zemljišta kopovskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta	59

4.2. Flotacijsko jalovište “ Polje 2”	62
4.2.1. Morfološke karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta	62
4.2.2. Fizičke karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta	68
4.2.3. Hemijske karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta	72
4.2.4. Mikrobiološke karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta	77
4.2.5. Poređenje zemljišta flotacijskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta	78
4.2.6. Poređenje zemljišta rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta	81
4.3. Poređenje zemljišta na jalovištima i kontrolnih prirodnih zemljišta	88
4.4. Poređenje zemljišta kopovskog i flotacijskog jalovišta	89
5. DISKUSIJA	93
5.1. Morfološke karakteristike	93
5.2. Fizičke karakteristike	94
5.3. Hemijske karakteristike	98
5.4. Mikrobiološke karakteristike	105
5.5. Predlog mera zaštite i rekultivacije zemljišta u narednom periodu	108
6. ZAKLJUČCI	112
7. LITERATURA	116
8. PRILOZI	131
BIOGRAFIJA AUTORA	141
IZJAVA O AUTORSTVU	142
IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE	143
IZJAVA O KORIŠĆENJU	144

1. UVOD

Razvoj ljudskog društva je u neraskidivoj vezi sa razvojem industrijske proizvodnje i energetike, a samim tim sve je veći obim eksploatacije mineralnih sirovina. Na području Bora otkriveno je 1903. godine bogato ležište rude bakra na brdu Čoka Dulkan, što predstavlja početak osnivanja Rudarsko-topioničarskog basena Bor i početak eksploatacije ove važne mineralne sirovine. Tokom stogodišnjeg postojanja ovog basena otvorena su mnoga ležišta za površinsku i podzemnu eksploataciju. Eksploatisana su rudna tela na površinskim kopovima Bor, Veliki Krivelj i Cerovo-Cementacija, a za podzemnu eksploataciju tu je jama Bor (Žikić et al., 2009).

Pri podzemnom načinu eksploatacije veliki je obim pripremnih radova, a samim tim su visoki troškovi proizvodnje. Zato se prednost daje površinskoj eksploataciji koja je isplativija pogotovu ako su ležišta plitka i bogata, a kojih na ovom području više nema jer su već iscrpljena. Ako su ležišta dublja i siromašna potrebno je ostvariti velike kapacitete, jer samo oni obezbeđuju dovoljnu ekonomičnost. Površinski kopovi postaju sve veći i dublji, a samim tim stvara se veća količina otkopane raskrivke i veći problemi njenog odlaganja. Uticaj površinske eksploatacije rude na životnu sredinu je veoma veliki, jer dovodi do degradacije velikih površina otkopavanjem i deponovanjem kopovske jalovine, do aeroxagađenja koje nastaje u toku eksploatacije i posle nje, kao i podizanje prašine sa površina odlagališta jelovine. Veliko je i zagađenje zemljišta i voda, taloženjem prašine, mehaničkih i hemijskih nečistoća. Sa povećanjem količine raskrivke povećava se veličina degradiranog prostora koji narušava životnu sredinu. Ova jalovišta se nazivaju *kopovska* i zauzimaju velike površine koje podležu zakonskim regulativima iz oblasti Rudarstva i oblasti Zaštite životne sredine.

Veliki problem prilikom prerade rude bakra flotiranjem predstavlja jalovina pirita koja se javlja kao nus proizvod ove tehnologije. Odlaganjem ovakve jalovine nastala su *flotacijska jalovišta*. Pošto se radi o velikim količinama jalovine, veliki je i ekološki problem sa kojim se suočavaju stanovnici Bora. Flotacijsko jalovište u Boru locirano je u dolini Borskog potoka, koji se nalazi zapadno od flotacijskih objekata. Postupak flotacijske prerade rude podrazumeva da se ona drobi i melje, tako da se na kraju procesa izdvaja koncentrat bakra i jalovina koja je u obliku vodenog rastvora- pulpe čija je stabilnost mala. Zbog toga je veoma teško očuvanje nasipa jalovišta i zahteva

isušivanje flotacijske jelovine, što dovodi do izvesne stabilizacije podloge. Svako flotacijsko jalovište, čak i kada nije aktivno, u velikoj meri ugrožava okolinu. To se odnosi na zauzimanje zemljišta na kome je formirano, zagađenje površinskih i podzemnih voda, kao posledica prolaska atmosferskih padavina po jalovištu i kroz njega. Veliku opasnost i zagađenje predstavlja i raznošenje površinskog sloja jelovine usled jačih vetrova.

Problem otpada nastalog kao rezultat ljudskih aktivnosti (komunalnog, poljoprivrednog, industrijskog, rudarskog itd.) danas predstavlja veliki problem kako u razvijenim, tako sve više i u manje razvijenim i nerazvijenim zemljama sveta. Rudarska jalovišta degradiraju površinu na kojoj se odlažu i sadrže manje ili veće količine toksičnih materija koje ih čine nepogodnim za rast biljaka. S druge strane, te štetne materije mogu vetrom i vodom dospeti u ostale delove životne sredine (**Müller et al., 2002; Sracek et al., 2010**).

Da bi se smanjio rizik od zagađenja životne sredine i degradirane površine privede korisnoj nameni, primenjuju se različite metode rekultivacije, što je veoma aktuelna tema u nauci i praksi (**Adriano et al., 2004; Perez-de-Mora et al., 2006**). Na jalovištima rudnika bakra Bor izvedena je rekultivacija: na jednom delu kopovskog jalovišta "Visoki planir" od 1979. do 1998. godine zasađena su stabla više vrsta listopadnog drveća, dok na drugom delu jalovišta nije primenjena rekultivacija. Na jedan deo flotacijskog jalovišta "Polje 2" 1991. godine nanesen je zemljišni materijal iz pozajmišta. Na preostalom delu tog drugog jalovišta takođe nije izvršena rekultivacija.

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije su posledice primenjenih mera rekultivacije na karakteristike zemljišta kopovskog jalovišta "Visoki planir" i flotacijskog jalovišta "Polje 2", Rudnika bakra Bor.

Osnovni cilj istraživanja je utvrđivanje promena u karakteristikama površinskog sloja kopovskog i flotacijskog jalovišta koje su nastale kao posledica primene mera rekultivacije pre 20-30 godina. Cilj ove disertacije je da se na osnovu istraživanja promena u zemljištu pod uticajem mera rekultivacije zasada listopadnog drveća na kopovskom jalovištu "Visoki planir" kao i na osnovu istraživanja uticaja primenjenih mera rekultivacije nanošenjem zemljišnog materijala iz pozajmišta na flotacijskom jalovištu "Polje 2", donesu relevantni zaključci o uticaju pomenutih mera na zemljište na rudarskim deponijama, kao sličnim površinama deponovanja različitog otpada.

Utvrđivanje promena u karakteristikama zemljišta radi se s ciljem sagledavanja uspešnosti primenjenih mera rekultivacije tehnosola na jalovištima rudnika bakra, nakon dužeg vremenskog perioda. Ispitivanja zemljišnih tvorevina na jalovištima Rudnika bakra Bor, rekultivisanih i nerektivisanih, imaju za cilj spoznavanje uloge prirodnih i antropogenih faktora (rekultivacije) u obrazovanju ove grupe zemljišta i njihovih karakteristika.

Cilj ove disertacije je da se na osnovu utvrđenih promena donesu zaključci o opravdanosti primene navedenih mera rekultivacije, kao i predlog mera rekultivacije i zaštite zemljišta u narednom periodu.

2. PREGLED LITERATURE

Poljoprivreda, industrija (rudarstvo) i urbanizacija su uzrok degradacije zemljišta preko dramatičnih fizičkih, hemijskih i bioloških transformacija, ali takođe uzrokuju i nastanak novih zemljišta koje karakteriše prisustvo u različitim odnosima pedološkog, geološkog i tehnogenog materijala (Séré et al., 2010).

2.1. Degradacija prostora kao posledica rudarenja

Rudarstvo obuhvata pronalaženje i vađenje (eksploataciju) korisnih mineralnih sirovina iz njihovih ležišta u zemljinoj kori. Rudarski proizvodi (mineralne sirovine) su temeljna poluga za celu industriju, pa je osnovni zadatak rudarstva da proizvodi i dostavlja industriji potrebne količine mineralnih sirovina, koje se izravno koriste ili se daljim postupcima prerađuju u poluproizvode, koje ostale industrijske grane koriste pri izradi konačnog proizvoda. S obzirom na radni prostor, rudarstvo se deli na podzemnu i površinsku eksploataciju.

Podzemna eksploatacija se primenjuje za dobijanje mineralnih sirovina koje se nalaze u dubljim delovima zemljine kore.

Površinska eksploatacija mineralnih sirovina značajnije se počela primenjivati tek u XX veku. Ovaj način eksploatacije se primenjuje za mineralne sirovine koje se nalaze relativno blizu zemljine površine. Eksploatacija ležišta površinskim kopom odvija se u dve radne faze: raskrivanje rudnog tela i otkopavanje rudnog tela. Osnovne tehnološke operacije na površinskom kopu su: priprema minskih bušotina i miniranje eksplozivom, otkopavanje bagerima (kašikarima, vedričarima, glodarima), transport mineralne sirovine (železnicom, kamionima, trakama, žičarom), oplemenjivanje mineralne sirovine i odlaganje jalovine. Otkopavanje rudnog tela izvodi se u obliku etaža. Dimenzije i raspored etaža su uslovljeni prilikama u ležištu, fizičko-mehaničkim svojstvima korisne mineralne sirovine i jalovine, kapacitetom proizvodnje i mehanizacijom.

Flotiranje je postupak odvajanja hidrofobne čvrste materije od hidrofilnih pomoću mehurića vazduha. Produvanjem vazduha kroz suspenziju, u koju su dodate

materije za lakše stvaranje pene, stvaraju se mehurići vazduha koji se hvataju na hidrofobnu materiju i iznose je na površinu. To je dakle mokra metoda za odvajanje dveju ruda i za njihovu koncentraciju kada su u prirodi pomešane: pena nekih tečnosti (npr. mineralnog ulja, hlorbenzola), athezijom i površinskim naponom, zadržava deliće sitno samlevene rude na površini, dok deliće druge padaju i talože se na dnu.

Površinska eksploatacija je jedan od najstarijih načina iskopa mineralnih sirovina. Današnji površinski kopovi, zahvaljujući razvoju tehnike i tehnologije, zauzimaju ogromna prostranstva, a sirovine se eksploatišu na velikim dubinama. Ovo su istovremeno i osnovni razlozi zbog kojih je površinska eksploatacija jedan od najdrastičnijih oblika degradacije životne sredine. Među brojne negativne efekte eksploatacije spadaju: zauzimanje poljoprivrednog i šumskog zemljišta, promene u režimu površinskih i podzemnih voda, izmeštanje reka, prekid u lancu ishrane i druge promene biocenoza, preseljenje stanovništva, izmeštanje naselja, industrijskih, saobraćajnih, kulturno-istorijskih i drugih objekata koji se nalaze iznad ležišta. Neminovne prateće pojave površinske eksploatacije su i: drastična promena pejzaža, predela i postojećih ekosistema, stvaranje veštačkih sterilnih brda jalovine, rupa-kratera ogromnih dimenzija kao i površina bez vegetacije sa uništenim pedološkim pokrivačem. Sve navedene promene daju sasvim novu, često zastrašujuću sliku narušenih predela (**Dražić et al., 2008**).

Nakon ekonomski isplativog vađenja ruda metala, rudarska jalovina koja proizilazi iz podzemne eksploatacije odlaze se u neposrednoj blizini rudnika i predstavlja oblast otpada na modernom pejzažu (**Bini i Gaballo, 2006**).

U Kini je procenjeno da ima preko 8000 nacionalnih i 230.000 privatnih rudarskih kompanija koje proizvode oko 60 miliona tona rudarskog otpada godišnje (**Young, 1988**). Ove otpadne deponije predstavljaju ogromne rizike za životnu sredinu i poziv za odgovarajuće upravljanje. Degradirano zemljište povezano sa rudarskim aktivnostima je u Kini dostiglo površinu od oko 3,2 miliona ha do kraja 2004. godine, a brojka se povećava alarmantnom brzinom od 46.700 ha godišnje (**Wong, 2003; Li, 2006**).

U 2007. godini u Čileu (**Rojo i Cubillos, 2009**), proizvodnja rudnika bakra je bila 5,56 miliona tona bakra, što je bilo 36% svetske proizvodnje te godine. Približno 3,27 miliona tona je dobijeno flotacijom sulfidnih ruda, stvarajući rudarska jalovišta kao

otpadni produkt. Prema ovim podacima, obzirom da ruda bakra sadrži prosečno u intervalu od 1 do 30% koncentrata bakra, oko 790 miliona tona otpadne jalovine je proizvedeno 2007. godine, a ona sadrži 40% težinskih čvrstih čestica. Rudarska jalovina sadrži visoke koncentracije hemikalija i elemenata koje imaju negativan značaj za životnu sredinu.

Rudarske jalovine sadrže visoke koncentracije hemikalija i elemenata koji utiču na životnu sredinu, ne samo tako što imaju štetan uticaj na vodne resurse, zbog ispiranja hemikalija, već imaju i opšti uticaj na floru i faunu, a takođe imaju i ozbiljan uticaj na kvalitet vazduha zbog emisije sitnih čestica (**Rojo i Cubillos**, 2009).

Jalovina bakra, nastala procesima vađenja i prerade rude bakra, ne samo što oštećuje prirodnu vegetaciju, već dovodi do stvaranja velikih delova oštećenog zemljišta, a takođe je i izvor zagađenja metalima za lokalne vode, vazduh i zemljišta (**Wong**, 2003).

Prema rečniku **U.S. Environmental Protection Agency** (2014), ekološki rizik se definiše kao "Potencijal za štetna dejstva na žive organizme povezana sa zagađenjem životne sredine tečnim otpadom, emisijom, čvrstim otpadom, ili slučajnim hemijskim akcidentima, iskorišćenjem energije ili iscrpljivanjem prirodnih resursa".

Održivost životne sredine je jedna od najvažnijih briga za rudarstvo 21. veka. Rudarska zemljišta predstavljaju pretnju okolnim ekosistemima i zdravlju ljudi i na taj način njihova rekultivacija je od fundamentalnog značaja.

2.2. Rekultivacija degradiranih površina

Ciljevi melioracija su popravljanje, poboljšanje, rekultivacija i konzervacija zemljišta. Savremene melioracije obuhvataju i rekultivaciju rudarskih kopova i deponija (**Kuntze**, 1986).

Prema **Antonoviću** (1999), rekultivacija (lat.re - predmetak u složenicama koji znači ponovo, opet još jednom; cultivatio - gajenje, podizanje, obrađivanje) znači stvaranje produktivnih zemljišta od onih oštećenih rudarstvom, industrijom, građevinarstvom i drugim načinima, primenom kompleksa mera, kao ravnanje, humizacija, fertilizacija, hemijske i hidrotehničke melioracije, zatravljivanje, pošumljavanje i dr.

Prema **Моторини** (1975), rekultivacija je kompleks rudarsko-tehničkih, inženjerskih, poljoprivrednih i šumarskih radova koji se preduzimaju u određenom periodu, usmerenih ka transformaciji zemljišta degradiranih industrijom, u stanje pogodno za poljoprivredu i šumarstvo, rekreaciju, različite forme čuvanja vode, kapitalnu i stambenu izgradnju i druge namene.

Pod rekultivacijom se podrazumeva ponovno uspostavljanje biljnih zajednica (vegetacije) na području degradiranom površinskom eksploatacijom. Može se obavljati periodično ili u kontinuitetu, sinhrono prateći rudarske aktivnosti. Nije neophodno, a često nije ni moguće da se restaurišu prethodni pejzaži i rekonstruiše stanje identično preeksploatacionom. Mogu se podržati svi oblici korišćenja zemljišta. Bitno je da odabrani vid korišćenja zemljišta zadovolji potrebe lokalnog stanovništva, prirodnih uslova, uključujući i karakteristike novoformiranih zemljišta, post-eksploatacione strategije i cene (**Kural**, 1994).

U zemljama sa razvijenom regulativom, standardi u oblasti rekultivacije mogu biti najznačajniji faktori u izboru post-eksploatacionog korišćenja zemljišta. Uobičajan metod kontrole u praksi je da se od lokalne, regionalne ili nacionalne državne agencije mora tražiti saglasnost za eksploataciju pre započinjanja bilo kakve aktivnosti (Australija, Kanada, EU, Južna Afrika i SAD). Uobičajni elementi u mnogim zakonima uključuju selektivno odlaganje raskrivke, posebno plodnog humusnog sloja zemljišta, kao i preoblikovanje u skladu sa originalnim konturama (SAD i Velika Britanija). Obavezna je supervizija vladinih predstavnika nad radovima rekultivacije, kontrola uspostavljanja vegetacionog pokrivača, polaganje novčane garancije ili drugih vidova finansijskih depozita pre započinjanja radova na površinskoj eksploataciji sirovina (**Dražić**, 2011). Uzimajući u obzir intenzitet i raznovrsnost degradacionih formi, degradirano zemljište se mora rekultivisati i privesti novoj valorizaciji. U toku ovog procesa ne mora se insistirati na autentičnoj rekonstrukciji oblika, sadržaja i funkcija koji su postojali pre rudarskih aktivnosti. Mogu se kreirati nove ambijentalne vrednosti predela, uzimajući u obzir promenjene ekološke, društvene i druge uslove.

2.3. Moguće tehnike rekultivacije

Najveći broj radova publikovanih u poslednje dve decenije odnosi se na problem sanacije odnosno rekultivacije zemljišta na jalovištima zagađenih štetnim mikroelementima.

Tehnologije rekultivacije zemljišta zasnovane na iskopavanju, transportu i deponovanju metalima kontaminiranih zemljišta su veoma efikasni u snižavanju rizika, međutim, one takođe mogu biti skupe za izvođenje (**Berti i Cunningham, 1997**).

Upotreba vegetacije za uređenje, stabilizaciju i kontrolu zagađenja je verovatno najrealniji pristup rekultivaciji zemljišta koja su pod uticajem rudarskog otpada. Jedan od ključnih faktora koji određuju uspešnu revegetaciju je početno naseljavanje biljaka koje mogu da kolonizuju jalovišta progresivno. Međutim, uspostavljanje vegetacije na rudarskim jalovinama je često teško, a utvrđeno je da glavne prepreke revegetaciji na mnogim jalovinama rudnika metala predstavljaju toksične koncentracije metala, nizak sadržaj hraniva i loše fizičke karakteristike (**Ye et al., 2002**). U cilju poboljšanja revegetacije, neophodno je da se poboljšaju fizičke i hemijske osobine supstrata.

Za razliku od organskih jedinjenja, toksični metali nisu razgradivi u okruženju, a mogu opstati u zemljištu decenijama ili čak vekovima. Kontaminacija zemljišta metalima može imati dugoročne ekološke i zdravstvene implikacije. Veoma je poželjno primeniti odgovarajuće korektivne mere na zagađena zemljišta, što može da smanji rizik od kontaminacije metalima. Iskopavanje i odlaganje zemljišta se više ne smatra kao trajno rešenje. Potražnja za tehnikama koje tretiraju zemljište je u porastu i razvoj novih jeftinih, efikasnijih i ekološki prihvatljivih tehnologija remedijacije je generalno postao jedan od ključnih istraživačkih aktivnosti u nauci i tehnologiji životne sredine. U izboru najprikladnije metode remedijacije zemljišta za određeno zagađeno mesto, je od ključnog značaja da se razmotre karakteristike zemljišta i zagađivači (**Leštan et al. 2008**). Različiti pristupi se predlažu za sanaciju lokacija kontaminiranih metalima. Neke od ovih tehnologija, poput ispiranja zemljišta separacijom čestica po veličini i hemijske ekstrakcije sa vodenim rastvorima surfaktanata i mineralnih kiselina su uveliko u upotrebi (**Kuhlman i Greenfield, 1999; Mann, 1999**), dok je tehnologija čišćenja zemljišta helatima i poboljšane fitoekstrakcije, još uvek u velikoj meri u fazi razvoja.

Remedijacije zemljišta zagađene mikroelementima su zasnovane na fizičkim, hemijskim ili biološkim tehnikama i mogu da se klasifikuju kao *ex situ*, ako se zemljište iskopava i tretira na zahvaćenom delu ili transportuje i tretira negde drugde, ili *in situ*, ako se zemljište ne iskopava i tretira se na zagađenom području. Iskop mikroelementima kontaminiranih zemljišta (tehnike *ex situ*) može biti nepraktično zbog prekomernih troškova, dimenzija (površina, dubina, zapremina) kontaminiranog zemljišta, i stepena poremećaja na kontaminiranoj površini. U okviru *in situ* tehnika (izolacija, uklanjanje/ekstrakcija i stabilizacija) nekoliko od njih su isplative i pouzdane za popravku zemljišta manje kontaminiranih područja (**Pérez-de-Mora et al.**, 2006).

Tzv. asistirane prirodne remedijacije se zasnivaju na upotrebi aditiva i/ili biljaka za ubrzavanje procesa sorpcije, taloženja i kompleksacije, koji se javljaju prirodno u zemljištima da bi se smanjila mobilnost i biopristupačnost toksičnih elemenata. Prirodni procesi imobilizacije ne mogu biti dovoljni da ublaže rizike od mikroelemenata. Ovi procesi mogu takođe poboljšati mikrobiološke aktivnosti, naseljavanje i razvoj vegetacije i kruženje hraniva u zagađenim zemljištima. Biljni pokrivač takođe sprečava migraciju kontaminiranih čestica i može smanjiti njihovo ispiranje do podzemne vode (**Pérez-de-Mora et al.**, 2006).

Toksični metali i drugi zagađivači mogu biti izolovani i imobilisani da bi se sprečilo njihovo dalje kretanje, odnosno ispiranje kroz zemljište ili pomeranje erozijom zemljišta. Ovo se može postići prekrivanjem zagađenog mesta asfaltom ili drugim nepropusnim materijalima radi sprečavanja infiltracije vode, postavljanjem trajnog biljnog pokrivača (npr. fito-stabilizacija) ili pokrivanjem mesta nezagađenim zemljištem (**Guo et al.**, 2006). Manje čestice zemljišta, ali obično više zagađene, mogu biti uklonjene iz ostatka zemljišta različitim tehnikama razdvajanja koje se razvijaju i koriste u rudarstvu. Ovo uključuje upotrebu hidrociklona, koji odvajaju veće čestice od manjih pomoću centrifugalne sile i čvrsto-tečne tehnike razdvajanja, kao što su gravimetrijsko taloženje i flotacija, koji se zasnivaju na različitim površinskim karakteristikama čestica (**Mulligan et al.**, 2001; **Vanthuyne i Maes**, 2002).

Stabilizacija podrazumeva fiksiranje zagađivača na stabilnim mestima mešanjem ili ubrizgavanjem u zemljišta neorganskih ili organskih agenasa (npr., kreč, organski materijali, aluminosilikati, fosfati, oksidi gvožđa i mangana, ugalj ili pepeo, itd.). Zbog efekata promene pH vrednosti, takvi agensi su efikasni u smanjenju pristupačnosti

metala biljkama povećanjem dodatnih mesta vezivanja toksičnih metala. Stabilizovani metali onda postaju manje dostupni za biljke, a njihova biokoncentracija kroz lanac ishrane se smanjuje (**Guo et al.**, 2006). Međutim, toksični metali ostaju u zemljištu i mogu biti štetni kada se zemljišna prašina proguta ili udahne. Mnogi od aditiva koji se koriste u stabilizaciji zemljišta su sporedni proizvodi industrijskih aktivnosti, pa su stoga jeftini i dostupni u velikim količinama.

Vitrifikacija je metod imobilizacije mikroelemenata - zagrevanjem kontaminiranog zemljišta do 2000 °C. Vitrifikacija obično uključuje propuštanje električne struje između elektroda koje se ubacuju u kontaminirano zemljište. Zbog niske elektroprovodljivosti, zemljište počinje da se zagreva i topi (tali) i pretvara u materijal nalik staklenim blokovima. Vitrifikacija je skupa, ali je primenjiva na zemljištima u kojima su prisutni mešoviti organski i metalni kontaminanti (**Bueli i Farnsworth**, 1991). Elektrokinetička ekstrakcija je predložena kao *in situ* metoda za sanaciju delova kontaminiranog zemljišta. Elektrokinetička ekstrakcija podrazumeva elektrokinetičko kretanje naelektrisanih čestica suspendovanih u rastvoru zemljišta. Ciljani metali se mogu ukloniti taloženjem na elektrodi (**Hicks i Tondorf**, 1994).

U kontekstu remedijacije zemljišta, mikroelementi ne mogu biti uništeni kao organski zagađivači, već samo mogu da budu premešteni sa jednog mesta, npr. kontaminiranog dela, na drugo, npr. deponije. Visoka cena tradicionalnih tehnika remedijacije zemljišta (iskop i deponovanje) i ograničenih sredstava koja se izdvajaju za remedijaciju kontaminiranih lokacija, podstakla su razvoj alternativnih tehnika kao što je stabilizacija zemljišta, koje su isplative i manje remete životnu sredinu. U ovom pregledu, termin stabilizacija se odnosi na hemijsku stabilizaciju mikroelemenata i to imobilizacijom aditivima koji se unose u zemljišta. Aditivi vrše stabilizaciju kontaminenata tako što smanjuju njihovo ispiranje i pristupačnost, jer uzrokuju različite procese njihove sorpcije: adsorpciju na površinama minerala, formiranje stabilnih kompleksa sa organskim ligandima, taloženjem i jonskom izmenom. Tehnika se može primenjivati aplikacijama *in situ* i *ex situ* s ciljem vraćanja i ponovnog ozelenjavanja industrijski devastiranih područja i rudarskih jalovišta, poboljšanja kvaliteta zemljišta i smanjenja mobilnosti zagađivača pomoću stabilizirajućih agenasa i korisnom upotrebom industrijskih nusproizvoda (**Kumpiene et al.**, 2008).

Brojni aditivi se koriste za imobilizaciju mikroelementa u zagađenim zemljištima. To su kreč, zeolit, apatit, Fe i Mn oksidi, alkalni komposti, minerali gline i drugi. Iako su mnoge studije pokazale pozitivne efekte primene aditiva u smanjenju rastvorljivosti i dostupnosti mikroelementa, i dalje postoji zabrinutost u pogledu trajnosti remedijacije. Ovi aditivi, koji promoviraju prebacivanje mikroelemenata u stabilne forme, kao što su neorganske frakcije biosolida ili kompleksi, preko kovalentne veze imaju veću potencijalnu dugotrajnost (**Li et al.**, 2001). Biosolid predstavlja čvrst ili polučvrst organski materijal dobijen tretiranjem otpadnih voda. Ponovno zakišeljavanje zemljišta može okrenuti ulogu aditiva koja čine zemljišta alkalnim. Mineralizacija organske materije prisutne u biosolidima može takođe dovesti do oslobađanja mikroelemenata u potencijalno biljkama pristupačne oblike. Tradicionalno, preporučuje se ponovljena primena aditiva da se održi imobilizacija mikroelementa, ali je potrebno više raditi na poboljšanju ovih procedura (**Bolan et al.**, 2003).

Mnoge napuštene i postoperativne brane na jalovištima rudnika su gole ili imaju minimalnu vegetaciju i usporenu prirodnu kolonizaciju. Hemijska i fizička ograničenja za rast biljaka na rudarskim jalovinama su: nizak pH, visok sadržaj soli, nedostatak potrebnih hranljivih materija, toksični metali, velika zapreminska gustina, nedostatak strukturnosti zemljišta, spora infiltracija vode, slabo zadržavanje vode i mala propustljivost za vazduh (**Henriquez i Fernandez**, 1991; **Wong et al.**, 1998). Da bi se prevazišla ova ograničenja, mogu se dodati organski aditivi. Nekoliko istraživača je otkrilo da su biosolidi efikasan dodatak za sprečavanje erozije i uspostavljanje održivih biljnih zajednica (**Mata-González et al.**, 2002; **Madejón et al.**, 2006). Iako aplikacija biosolida može pomoći u rekultivaciji jalovišta rudnika, ona takođe može predstavljati i ekološki rizik. Zbog primene visokih doza biosolida potrebnih za rekultivaciju, može se javiti zagađenje teškim metalima (uglavnom Cu, Zn, Cd). Međutim, neki istraživači su sugerisali da primena biosolida može smanjiti rastvorljivost metala u rudnim jalovištima preko kompleksa sa reaktivnom frakcijom organske materije (**Haering et al.**, 1993; **Peppas et al.**, 2000; **Ye et al.**, 2002). Malo informacija je dostupno o dejstvu unetih biosolida i uspostavljenih biljnih zajednica na biodostupnost metala na jalovinama na kojima je primenjena fitostabilizacija. Pokretljivost teških metala je veoma važan faktor, jer nije povezana samo za toksičnost i uspostavljanje vegetacije, već i za rizik akumulacije metala u lancima ishrane do potencijalno opasnih nivoa. Biodostupnost

metala zavisi od nekoliko faktora, koji su uglavnom pod uticajem pH i organske materije zemljišta (**Towers i Paterson 1997; McBride et al., 1997**).

Fitoekstrakcija je javnosti privlačna (zelena) tehnologija remedijacije. Međutim, fitoekstrakcija se može efikasno primeniti samo na zemljištima koja su kontaminirana specifičnim i manje problematičnim, potencijalno toksičnim metalima i metaloidima, npr. Ni, Zn i As, koji su lako dostupni za biljke i za koje su poznate odgovarajuće biljke hiper-akumulirajuće sa proizvodnjom velike količine biomase. Obično, biljne kulture sa velikom biomasom mogu da se aktiviraju i da akumuliraju velike količine nisko biopristupačnih metala (npr. Pb, Cr, U, Hg) kada je pokretljivost ovih metala u zemljištu pojačana dodavanjem mobilizujućih agenasa (**Huang et al., 1997; Wu et al., 1999; Shen et al., 2002; Luo et al., 2005**). Pri takvoj hemijski poboljšanoj fitoekstrakciji, helatna sredstva se koriste skoro isključivo kao agensi za mobilizaciju.

Primena određenih aditiva na zagađenim zemljištima (**Adriano et al., 2004**), koji poboljšavaju ključne biogeochemijske procese u zemljištu i čine metale nepokretnim, već su se pokazale veoma uspešnim u praksi u Evropi i Severnoj Americi. Eksperimenti u kojima su korišćeni kreč, fosfati i biosolid su pokazali, u poljskim uslovima, ubranu prirodnu remedijaciju koja je rezultirala znatno poboljšanim rastom vegetacije, porastom populacije mikroorganizama i njihovog biodiverziteta, a smanjenu pokretljivost metala. U zavisnosti od hidrogeohemijskih svojstava zemljišta, izvora i vrste metala, načina korišćenja zemljišta, efikasnost tako izazvane imobilizacije pomaže prirodnoj remedijaciji čiji rezultat može biti trajan. Upotreba zelenih biljaka, kao sredstva remedijacije u čuvanju životne sredine ima određeni potencijal. Biljke mogu usvajati i bioakumulirati (fitoekstrakcija), kao i činiti nepokretnim (fitoimobilizacija) određene mikroelemente, u kombinaciji sa rizosfernim procesima. Dugoročna stabilnost određenih metalnih kompleksa je još uvek nepoznata, kao i uticaj biljnih korenova i njihovih mikroorganizama i mikoriznih simbioza.

Drenaža rudničkih kiselina je izazvana izlaganjem jalovine bogate piritom (gvožđe-sulfid) kiseoniku i vlazi (**Peppas et al., 2000**). U dovoljnoj količini, gvožđe hidroksid i sumporna kiselina, rezultat hemijskih i bioloških reakcija, mogu povećati koncentraciju rastvorenih metala i kontaminiranje površinskih i podzemnih voda.

Fitostabilizacija rudarskih deponija (brana) je alternativna, ekonomična strategija sanacije i stabilizacije metalnih zagađivača i njenom primenom sprečava se

izlaganje ljudi i životinja suspenziji čestica prašine kao i odlazak istih u atmosferu ili u podzemne i površinske vode. Ova tehnologija se obično koristi kao metod koji treba da obezbedi vegetacioni pokrivač na veoma zagađenim i fitotoksičnim površinama (Cunningham et al., 1995; Mench et al., 2003). Ovakvi pristupi za smanjenje mobilnosti i biodostupnosti metala uključuju dodavanje aditiva zbog uspostavljanja vegetacionog pokrivača od biljnih vrsta tolerantnih na metale (Berti i Cunningham, 1997). Fitostabilizacija je tehnologija zasnovana na imobilizaciji metala u zemljištu ili supstratu smanjenjem podizanja prašine, minimiziranjem erozije zemljišta, kao i kroz apsorpciju i akumulaciju korenima biljaka, adsorpcija na korenovima ili taloženje u zoni korenovog sistema biljaka. Ciljevi fitostabilizacije su uspostavljanje samoodržive zajednice biljaka na jalovinama (Bradshaw, 1997; Ginocchio, 1998), da stabilizuje površinu koja se diže od jalovine, a da se minimizira erozija vetrom i vodom. Biljke izabrane za fitostabilizaciju treba da razviju obiman korenov sistem i veliku količinu biomase u prisustvu visokih koncentracija teških metala, dok je translokacija metala iz korena do nadzemnih organa što je moguće niža (Rizzi et al., 2004). Na taj način se ograničava dospevanje metala u lanac ishrane (Ribert et al., 1995).

2.4. Primeri savremenih rekultivacija

Pérez-de-Mora et al. (2006), su ocenjivali efekte različitih aditiva i/ili biljnog pokrivača na rekultivaciju zemljišta kontaminiranog mikroelementima. Ispitivano je nekoliko tretmana aditivima: četiri organska (leonardit, listinac, kompost od komunalnog otpada, kompost od biosolida) i jedan neorganski (otpad iz prerade šećerne repe). Korišćenje aditiva i/ili rast biljaka alkalizuje zemljište i povećava sadržaj ukupnog organskog C i koncentraciju rastvorljivog C u vodi. Posebno, primena kreča i stabilizovanog komposta je veoma efikasna u promeni pH vrednosti zemljišta. Dodavanje organskih aditiva je korisno za povećanje sadržaja organskog C zemljišta, ali prisustvo korenovog sistema može biti važno, čak i više od organskih aditiva, kao izvor lako rastvorljivih formi C. Biopristupačnost mikroelemenata je pod veoma velikim uticajem korišćenih ekstraktanata. U nekim slučajevima je posle aplikacije aditiva došlo do promene ukupne koncentracije mikroelemenata. Međutim, uočene razlike nisu uvek značajne, a uzrok promena može biti i heterogenost uzorka. Tzv. tehnike asistirane

prirodne remedijacije ne smanjuju ukupnu koncentraciju mikroelemenata u zemljištu i trebalo bi koristiti kvalitetne aditive sa niskim sadržajem mikroelemenata. Na terenu se mogu primeniti doze niže od preporučenih, ako su na tom zemljištu javljaju biljke koje su tolerantne na te mikroelemente.

Santibáñez et al. (2008) su sprovedi eksperiment u kontrolisanim uslovima da bi se procenila izvodljivost korišćenja biosolida i običnog ljulja (*Lolium perenne*) za fitostabilizaciju jalovine rudnika bakra i da bi se procenili obrasci akumulacije metala i translokacije kod biljaka. Rezultati sugerišu da istovremena primena biosolida (6%) i upotreba *L. perenne* može biti pogodna u programima fitostabilizacije jalovine rudnika bakra.

Asensio et al. (2013a) su svoj rad fokusirali na fizički kvalitet ispitivanih zemljišta. Godine 1988. počeo je rad na oporavku napuštenih rudnika bakra u selu Touro (Galicija, severozapadna Španija). Rudnička zemljišta su se delimično rekultivisala sadnjom drveća na kraju perioda iskorišćavanja rude bakra, a poslovi na obnovi cele oblasti traju od 2000. godine. Ovaj proces rekultivacije je uključio sadnju stabala bora (*Pinus nigra* Aiton) i eukaliptusa (*Eucalyptus globulus* Labill) i đubrenje organskim otpadom (uglavnom kanalizacioni mulj i ostaci papirnih maramica). Rezultati su potvrdili da je fizička degradacija netretiranih zemljišta znatna: niska poroznost, velika zapreminska gustina i manje od 50% vodo-stabilnih agregata. Zasađeno drveće povećava poroznost zemljišta zbog aktivnosti korena. Dodatak đubriva povećao je prosečni prečnik agregata (MWD), procenat vodo-stabilnih agregata (VSA) i indeks stabilnosti strukture (SI) zbog visokog sadržaja organskog ugljenika u dodatom otpadu. Potvrđeno je da je bolje koristiti oba tretmana istovremeno nego koristeći samo jedan od njih za poboljšanje fizičkog stanja zemljišta na rudarskim jalovištima.

Rudarska zemljišta napuštenog rudnika bakra u mestu Touro (Španija) su fizičko-hemijski degradirana i zagađena hromom i bakrom (**Asensio et al.**, 2013c). Da bi se poboljšao kvalitet ovih zemljišta, neke oblasti na ovom kopu su pošumljavane eukaliptusom ili borovima, dodavanjem muljeva ili su primenjena oba tretmana. Cilj rada je ocena efekata sadnje drveća ili/i dodatka mulja na biološki kvalitet zemljišta na rudarskim lokacijama zagađenim metalima. Dodavanje muljeva je popravilo biološki kvalitet zemljišta, a sadnja drveća nije povećala mikrobnu biomasu i funkciju do nivoa koji imaju nezagađeni kontrolni lokaliteti. Štaviše, unošenje muljeva je povećalo

efikasnost mikrobnih zajednica u metabolizmu C i N (prevlast gljiva umesto bakterija). Međutim, visoke koncentracije Cu i Cr i dalje imaju negativan uticaj na mikroorganizme u svim tretiranim zemljištima. Za budućnost remedijacije rudarskih zemljišta, preporučuje se periodično dodavanje mulja i sadnja autohtonih vrsta mahunarki.

Zemljišta rudarskog jalovišta dobijene nakon ekstrakcije bakra u rudniku Touro (severna Španija) su veoma degradirana, fizički i hemijski (**Asensio et al.**, 2013d). Tri parcele na jalovini ovog rudnika su dopunjene tehnosolom u različitim proporcijama da bi se utvrdilo da li je ova mešavina unapredila fizičko-hemijske karakteristike rudarskih zemljišta. Tehnosoli su formirani od organskog otpada, uključujući ostatake drveta, kanalizacionih muljeva i pepeo papirnih maramica. Neizmenjena jalovina je korišćena kao kontrolno zemljište. Sadržaj pseudo ukupnih i ekstrahovanih Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn je određen u uzorcima zemljišta. Neizmenjena zemljišta su imala značajna ograničenja za rast vegetacije. Sve varijante sa tehnosolima su dovele do poboljšanja svojstva rudarskih zemljišta tako što je došlo do povećanja sadržaja organskog ugljenika mikrobne biomase, pH vrednosti, CEC-a, ali je došlo i do povećanja sadržaja Ni, Pb Zn u zemljištu. Preporučljivo je da se proverí da li su koncentracije teških metala u otpadu suviše visoke ili ne, pre nego što se unesu u zemljište. Takođe je potrebno praćenje efekata ovih otpada tokom vremena i u više oblasti da bi se doneo zaključak da li su zaista povoljni za rekultivaciju degradiranih rudarskih zemljišta.

Zemljišta na nerekvltivisanim delovima rudarske jalovine su zagađene Cr i Cu (**Asensio et al.**, 2013b). Ovo zagađenje ne bi trebalo da bude problematično, jer su pristupačne koncentracije bile ispod granice dozvoljenih, ali su važne kada se posmatraju strategije rekultivacije koje se koriste kako bi se sprečila buduća pristupačnost Cr i Cu. Sadnja drveća i unošenje đubriva je smanjilo pseudo ukupne koncentracije Cr i Cu u zemljištima oba rudarska područja. Hemijsko fracionisanje ovih teških metala pokazalo je da aktivnošću korena oni mogu biti prevedeni iz nemobilnih u mobilne frakcije, a nakon toga može doći do njihovog ispiranja. Bakar takođe može biti usvojen od strane biljaka tokom vremena. Na rekultivisanim površinama, Cr i Cu su unešeni otpadom koji se koristio pri rekultivaciji, ali ovi teški metali su imali niže koncentracije nego u netretiranim zemljištima. S druge strane, koncentracije pseudo ukupnog Ni, Pb i Zn povećane su zbog vegetacije ili đubrenja.

Ipak, sadnja drveća je pomogla da zadrži ove teške metale u nemobilnim frakcijama zemljišta, sprečavajući njihovo ispiranje na okolna područja, kao i vegetacioni pokrivač koji je takođe sprečio širenje ove frakcije. U rekultivisanim zemljištima sadržaj Ni, Pb i Zn je povećan iz dodatih otpada. Rezultati pokazuju da su procenat frakcije gline i koncentracije ukupnog i rastvorljivog ugljenika uticali na hemijsko frakcionisanje teških metala više od pH zemljišta ili CEC-a. Dobijeni podaci takođe pokazuju da sadnja eukaliptusa ili borova, sa đubrenjem kanalizacionom muljem i ostacima papirnih maramica, kao i kombinacija oba tretmana, slabi zagađenje zemljišta teškim metalima. Predlažu oprez prilikom dodavanja organskih otpadaka, jer oni mogu dovesti do povećanje koncentracije Ni, Pb i Zn i njihovu pristupačnost biljkama. Naročito preporučuju monitoring zemljišta tokom vremena, ako se ove vrste otpada primenjuju višekratno, zbog moguće akumulacije teških metala.

U studiji **Novo et al.** (2013), izvedeno je đubrenje sa dve vrste otpada; tehnosolom i kompostom, na jalovini rudnika bakra u cilju procene njihovog potencijala da promovišu rast biljke indijski senf, koja ima veliku biomasu i uspešno se koristi u procesima fitoremedijacije. Za razliku od netretiranih rudničkih jalovina koje su uzrokovale brzo uginuće biljaka, primenjeni tretmani su omogućili rast i razvoj biljke tokom 90 dana. Ipak, uočene su značajne razlike između tretmana, biljke gajene sa kompostom prikazale su vrhunski rast, efikasniju otpornost protiv toksičnosti metala, i veću količinu usvojenog Cu i Zn. Visoke korelacije su registrovane između iznosa organske materije i hranljivih materija, i nekoliko ekofizioloških parametara biljaka. Ove korelacije su ukazale na prednost komposta u poređenju sa tretmanima tehnosolom. Pored toga, tretmani podižu izuzetno kiselu reakciju do podnošljivog nivoa.

Rezultati **Hafeez et al.** (2012), ukazuju da stopa procesa kruženja N i brojnost odgovarajućih mikrobioloških zajednica u tehnosolima imaju isti opseg kao i u drugim kopnenim ekosistemima. Ovo sugerise da tehnosoli, koji su formirani pri rekultivaciji kontaminiranih zemljišta, mogu uspešno obavljati osnovne funkcije ekosistema kao što je kruženje nutrijenata. Iako nisu prirodna zemljišta, vertikalna distribucija mikroorganizama u tehnosolima je slična onoj u drugim zemljištima, što znači smanjenje aktivnosti i brojnosti amonifikatora i denitrifikatora sa povećanjem dubine. Tip tehnosola takođe ima uticaja na zajednice koje učestvuju u kruženju N, posebno u površinskom horizontu. Međutim, dubina tehnosola je imala važniji uticaj na ispitivane

mikrobiološke zajednice nego sam tip tehnosola. Ovi rezultati će poboljšati razumevanje biološkog funkcionisanja tehnosola, što promoviše tehnologije za obnovu degradiranih zemljišta i reciklažu industrijskog otpada.

U radu **Rojo i Cubillos** (2009), analizirana je elektrolitička remedijacija jalovine rudnika bakra primenom bipolarnih ćelija od ploča nerđajućeg čelika. Ova tehnologija remedijacije uklanja rastvorljivi bakar iz jalovine rudnika, proizvodeći stabilniji ostatak. Ovaj tip sanacije je zasnovan na primeni električnog polja na isušeni čvrsti uzorak umetanjem elektroda. Elektrokinetička remedijacija se pokazala kao dobar metod za uklanjanje teških metala u sitnom čvrstom otpadu, kao što su gline, pepeo i blato. Među metodama koje se primenjuju na ove vrste otpada, elektro remedijacija je tehnika za koju je poraslo interesovanje u poslednjih 20 godina. Elektro remedijacija rudarskih jalovišta, kao u slučaju tretmana drugog čvrstog otpada, zahteva proširenje ostalim metodama opisanim u literaturi, između ostalih, dopune kompleksirajućih agenasa, dodavanje bakterija, kontrola pH i korišćenje ultrazvuka.

Rudarske aktivnosti na severu Rumunije godinama su sprovedene bez kontrolisanog merenja zagađenja ili bilo kakve prevencije. Stoga je Rumunija veoma zagađena teškim metalima, posebno bakrom kao rezultat rudarskih aktivnosti. Cilj rada **Horaiu et al.** (2010), je bio procena uticaja teških metala generisanih u vreme rudarskih aktivnosti na kvalitet životne sredine ispitivanog područja, kako bi se utvrdio indeks globalnog zagađenja, fokusirajući se na Cu , Zn , Pb , Mn i Ag. Uzorci zemljišta su analizirani između 1996. i 2007. godine, za vreme rudarskih aktivnosti i nakon što su prestale ove aktivnosti. Indeks globalnog zagađenja je pokazao da je stepen zagađenja u prihvatljivim granicama.

Chen et al. (2007), su sprovedeli eksperiment u stakleniku s ciljem procene potencijalne uloge mikoriznih gljiva u podsticanju revegetacije jalovina rudnika bakra. Dve divlje biljne vrste, divlje oko (*Coreopsis drummondii*) i kineska kočnica (*Pteris vittata*), zajedno sa travom, obični ljulj (*Lolium perenne*) i mahunarkom, bela detelina (*Trifolium repens*), sa i bez dodatka mikoriznih gljiva, gajene su na Cu rudarskoj jalovini da se procene mikorizni efekti na rast biljaka, mineralnu ishranu i usvajanje metala. Rezultati pokazuju da je simbioza uspešno uspostavljena između mikoriznih gljiva i svih testiranih biljaka, a mikorizna kolonizacija značajno povećava sadržaj suve materije u svim biljkama, osim kod običnog ljulja (*L. Perenne*). Pozitivan uticaj

mikorizne kolonizacije na rast biljaka može se u velikoj meri objasniti poboljšanjem usvajanja P i smanjenom koncentracije Cu, As i Cd. Eksperiment je preporučio upotrebu lokalnih biljnih vrsta u kombinaciji sa mikoriznim gljivama za ekološku obnovu jalovina rudnika metala.

Na dve *Rumex japonicus* (kiseljak) populacije (**Ke et al.**, 2007), jedne sa područja rudnika bakra i druge sa netaknutog područja, u hidroponima u uslovima viška bakra i deficita ostalih hraniva, proučavane su akumulacije bakra i mineralnih hranljivih materija. Indeksi tolerancije populacija sa kontaminiranih površina bili su značajno veći nego u populacijama sa netaknutih površina, što ukazuje na prethodno sticanje otpornosti na Cu.

Uzorci zemljišta iz istorijskog jalovišta rudnika bakra na planini Paris, severni Vels, Velika Britanija (**Khan i Jones**, 2009), su rekultivisani dodatkom kompostiranog zelenog otpada, +30% mulja, kreča i diamonijum-fosfata, da bi se odredio efekat dodataka na ekstrakciju metala u rudarskoj jalovini, i na pristupačnost teških metala gajenoj salati (*Lactuca sativa* L.). Rezultati ukazuju na to da je dodavanje kreča dovoljno da povrati vegetacioni pokrivač u rudarskom otpadu sa visokim sadržajem metala, dok je diamonijum-fosfat dobar za stabilizaciju Pb, ali štetno deluje na rast biljaka zbog rizika od prisustva N u njemu, što može da ograniči njegove šanse za primenu u remedijaciji kontaminiranih lokacija.

Predmet istraživanja **Akala i Lal** (2001), bilo je rekultivisano zemljište na rudarskim jalovištima pod dva načina korišćenja sa ciljem da se utvrdi potencijal ovih zemljišta da skladište organski ugljenik. Određivani su efekti 4 različita tipa rekultivacije koji se sastoje od pašnjaka i šuma, sa i bez rekonstrukcije površinskog sloja zemljišta, a procenjivane su promene u skladištenju C u funkciji vremena. Doneli su nekoliko zaključaka. Kao prvo, narušavanje zemljišnog pokrivača rudarskim iskopavanjima dovelo je do drastičnih gubitaka organskog ugljenika (više od 70%). Zatim, rekultivacija ovih zemljišta dovela je do smanjenja zapreminske gustine u periodu 20 do 30 godina. Sadržaj organskog C se u rekultivisanim zemljištima povećao tokom trajanja rekultivacije. Potencijal rekultivisanih zemljišta da skladište organski C je bio 2 do 3 mg ha⁻¹ god⁻¹ u početnom periodu i 0,4 do 0,73 mg ha⁻¹ god⁻¹ nakon 20 do 30 godina posle rekultivacije. Uspostavljanje pašnjaka dovelo je do povećanja sadržaja organskog C od 50 do 75 mg ha⁻¹ godišnje u periodu od preko 20 do 25 godina na

dubini 0-30 cm. Rekultivacija rudarskih jalovišta rekonstrukcijom površinskog sloja zemljišta dovodi do skladištenja više organskog C nego rekultivacija bez rekonstrukcije površinskog sloja.

Problemi u životnoj sredini istorijski povezani sa rudnicima bakra su poznati, a naročito se odnose na kontaminaciju poljoprivrednog zemljišta metalima **Aguilar et al.** (2011). Bakar je glavni kontaminant u zemljištima u okolini rudnika bakra u Čileu. Bakar je bitan mikroelemenat za sve organizame, ali je otrovan u određenim koncentracijama. Visoke koncentracije bakra (iznad 700 mg kg^{-1} , sa maksimalno 4000 mg kg^{-1}), generalno su prisutne u blizini rudarskih aktivnosti ili u područjima u odnosu na koja se rudarske aktivnosti nalaze u susedstvu i uzvodno. U ovim oblastima uzorkovanja, koncentracije bakra se razlikuju od onih u okolini za čitav stepen. Ove visoke i heterogeno distribuirane koncentracije bakra najverovatnije su posledica savremenih ili bivših rudarskih aktivnosti.

Séré et al. (2010) su pokazali da su tehnosoli podvrgnuti dinamičnoj evoluciji rezultirali brzim razvojem novih horizonata. Međutim, takve promene u strukturi zemljišta i u vodnim karakteristikama duž profila govore kako različiti matični supstrati mogu imati snažan uticaj na vertikalnu distribuciju mikroorganizama i njihovu aktivnost. Stoga je od značaja pri izgradnji tehnosola da se razume kako će ove strukturne promene zemljišta i karakteristika voda po dubini profila uticati na funkcije u ekosistemu koje su pod uticajem mikroorganizmima, kao što je npr. kruženje hranljivih materija.

2.5. Zemljišta degradiranih prostora

Površine pod zemljištima koja su razvijena na antropogenim podlogama dramatično su se povećale (**Huot et al.**, 2012). Kao rezultat toga, nastala je nova referentna grupa zemljišta, Technosoli, koja je dodata u najnovijoj verziji Svetske referentne baze za zemljišne resurse (WRB 2006). Tehnosoli uključuju zemljišta koja su pod dominantnim ili su pod snažnim uticajem tehnogenih materijala, npr. zemljišta proistekla iz otpada (deponije, mulj, pepeo, rudarska jalovišta i pepelišta) i definišu se kao zemljišta koja sadrže 20% ili više tehnogenih materijala u gornjih 100 cm (**IUSS Working Group WRB**, 2007). Ova zemljišta su rezultat ljudskih aktivnosti i uglavnom

se nalaze u urbanim i industrijskim oblastima. Ona su takođe više kontaminirana od ostalih zemljišta (**Rossiter**, 2007). Slično kao prirodni matični supstrat i tehnogeni materijali se razvijaju pod uticajem faktora sredine, ali malo se zna o procesima koji se odvijaju u tehnosolima. Neki artefakti su prilično stabilni u zemljištu, drugi naprotiv, imaju visoku hemijsku reaktivnost. Stoga, je pedogeneza tehnosola pod snažnim uticajem karakteristika tehnogenih matičnih supstrata.

Nakon ekonomski isplativog vađenja ruda metala, rudarska jalovina koja proizilazi iz podzemne eksploatacije odlaže se u neposrednoj blizini rudnika i predstavlja oblast otpada na modernom pejzažu. Prvobitna površina zemljišta je zatrpana pod rudarskim jalovinama, tako da su onemogućeni prirodni procesi evolucije zemljišta. Jalovina na površini ostaje dugo izložena spoljnim uticajima, kada procesima raspadanja, revegetacije i pedogeneze dolazi do formiranja zemljišta na rudarskoj jalovini (**Bini i Gaballo**, 2006). Stepem pedogeneze i stepen evolucije zemljišta zavisi od vremena izloženosti matičnog jalovišnog materijala u zoni aktivnog formiranja zemljišta, kao i od od prirode samog materijala.

Komparativna studija antroposola i "normalnih" zemljišta (koji nisu pod uticajem rudnika) dozvoljava rekonstrukciju prirodnih i antropogenih faza razvoja zemljišta, kao i identifikaciju glavnih faktora razvoja. Rudarska jalovina se može smatrati koluvijalnim depozitom čije promene na površini dovode do različitih trendova u pedogenezi i prostornoj varijabilnosti. Savremeni razvoj zemljišta regulisan je sastavom i svojstvima rudarskih jalovina. Starost jalovina, u kombinaciji sa nasleđenim efektima jalovine su odgovorni za različite pedogenetske faze; jalovina verovatno uzrokuje različite vrste zemljišta na kratkim razdaljinama (<0,5 km) na rudarskim deponijama (**Bini i Gaballo**, 2006).

Većina radova o antropogenim zemljištima opisuje:

- specifične aspekte njihovih bioloških, hemijskih ili fizičkih osobina (**Gong et al.**, 1997; **Higuera et al.**, 2003; **Olson et al.**, 2005a; **Liang et al.**, 2006; **Rao et al.**, 2006; **Kim et al.**, 2007; **Solomon et al.**, 2007),
- kulturološko nasleđe i geografiju (**German**, 2003; **Marwick**, 2005;. **Olson et al.**, 2005b; **Woods**, 2004; **Woods et al.**, 2006),

- erozije, deponije otpada, zagađenja đubrenjem (Olson et al., 2002; Dilly et al., 2003; Businelli et al., 2007; Meng et al., 2007; Cicchella et al., 2008; Enters et al., 2008; Yao et al., 2008),

-i radovi koji se bave taksonomijom (Effland i Pouiat, 1997; Delgado et al., 2007; Zikeli et al., 2005) i/ili pedogenezom antropogenih zemljišta (Zhang i Gong, 2003; Dercon et al., 2005).

Veoma mali broj radova se bavi brzinom pedogeneze, tj. diferencijacijom horizonata (Bini i Gaballo, 2006; Wei et al., 2006).

Prema Schippers et al., (2010), preko 70 mikrobioloških studija je izvedeno na jalovištima i odlagalištima sulfidnih ruda, da bi se rasvetlili mikrobiološki i biohemijski procesi u njima, a sve sa ciljem rešavanja problema vezanih za drenažu kiselina. Oksidacija pirita je najrelevantniji biohemijski proces koji se u njima dešava, pa je zato razvijeno više metoda koje mere stepen oksidacije jalovine pirita.

Rezultati istraživanja pravca razvoja zemljišta na rudarskim odlagalištima mogu doprineti boljem razumevanju područja koja su pogođena sličnim otpadnim materijalom, a mogu se koristiti i u sanaciji područja napuštenih rudnika (Bini i Gaballo, 2006).

2.6. Degradacija zemljišta površinskom eksploatacijom i njihova rekultivacija u Srbiji

U Srbiji površinska eksploatacija, za razliku od podzemne, ima mnogo veće učešće u ukupnoj eksploataciji sirovina (Pejčinović i Urošević, 1996). Mada brojke variraju od godine do godine, u Srbiji je registrovano preko 180 površinskih kopova.

Procenjeno je da će u Srbiji površinskom eksploatacijom (i degradacijom životne sredine) biti obuhvaćeno preko 1000 km² površine. Najveće promene, kako po površini, tako i po intenzitetu, odigravaju se u okviru Kolubarsko-tamnavskog, Podunavsko-kostolačkog i Kosovskog lignitskog basena, kao i Borsko-majdanpečkog basena bakra (Pejčinović i Urošević, 1996). Uticaj lokaliteta eksploatacije kamena, šljunka i peska na životnu sredinu je znatno manjeg intenziteta, ali broj od oko 140 aktivnih kopova ukazuje na značajan obim negativnih promena.

Prema kriterijumu zauzeća površine i dubine kopa, u Srbiji se često sreću tri tipa površinskih kopova:

1. Površinski kopovi koji zauzimaju velike površine, ali su malih dubina. Kod nas se javljaju kod eksploatacije niskokaloričnih ugljeva - lignita (Kolubarsko-tamnavski lignitski basen, Podunavsko-kostolački basen i Kosovsko-metohijski basen);
2. Veliki i duboki površinski kopovi koji se kod nas javljaju u eksploataciji obojenih metala (Borski basen);
3. Mali površinski kopovi zastupljeni u eksploataciji kamena, peska, šljunka i gline.

Tehnička, a zatim biološka rekultivacija i uređenje eksploatacijom degradiranih površina su u našoj zemlji opšteprihvaćene metode otklanjanja posledica površinske eksploatacije.

Nažalost, mada zakonom obavezna, rekultivacija se kod nas nedovoljno primenjuje. Problem je najizraženiji kod rekultivacije kopova gline, peska, šljunka i kamena gde se ona i u ranijim periodima retko ili gotovo nikada nije sprovodila. Postojeći propisi obavezuju na izradu projekata rekultivacije i analize uticaja radova na životnu sredinu, ali mehanizmi implementacije projekata i predloženih rešenja, kao i nadzora nad realizacijom nisu jasno definisani i dovoljno kontrolisani. Često se u praksi dešava da je projektna dokumentacija za izvođenje radova na rekultivaciji urađena (jer se bez nje ne može izdati dozvola za početak radova na eksploataciji), ali se projekti ne realizuju, već se degradiran prostor prepušta spontanoj tj. "samorekultivaciji".

1. Rekultivacija velikih i plitkih površinskih kopova u Srbiji.

Od svih energetske izvora, ugalj je još uvek najznačajniji energetski resurs u svetu, jer čini oko 46% ukupnih rezervi svih resursa koji se koriste za dobijanje energije. Sve veća potreba za električnom energijom će uticati da naša zemlja i u budućnosti bude orjentisana na proizvodnju lignita površinskom eksploatacijom, što podrazumeva dalje narušavanje predela iznad ležišta uglja i nastavljanje sa uništavanjem postojećih ekosistema.

Na području Kolubarsko-tamnavskog basena eksploataciona ležišta se prostiru na oko 520 km². Na ovom području su izvršeni obimni radovi na revitalizaciji i uređenju degradiranih površina. Prva pošumljavanja deponija su izvršena 1957. godine na otvorenim kopovima, pretežno sadnjom bagrema.

2. Rekultivacija velikih i dubokih površinskih kopova u Srbiji

Tipičan je Borski rudnički basen sa nekoliko velikih ležišta bakra. Rudnik bakra Bor je aktivan od 1903. godine, a površinska eksploatacija je počela 1924. godine. Rudnik bakra Majdanpek poznat je još iz rimskog doba, a površinska eksploatacija je započeta 1958. godine. Kao posledica rudarskih aktivnosti degradirano je preko 800 ha površine. Na flotacijskom jalovištu "Bor" i "Veliki Krivelj" primenjivane su tehnička i biološka rekultivacija. U periodu 1992-1994. godine kosina brane 1A na flotacijskom jalovištu "Veliki Krivelj" je u potpunosti tehnički rekultivisana. Nakon završetka tehničke rekultivacije, u toku 1994-1995. godine urađena je biološka rekultivacija setvom raži i hibridne uljane repice, a po obodu saobraćajnica formiran je vetrozaštitni pojas sadnjom bagrema. Na jednom delu, na horizontali brane 2A je u toku 1995. godine, na tehnički pripremljenoj podlozi izvršena setva hibridne uljane repice, a u toku 1996. godine drugi deo horizontale brane nasipan je humusom. Na brani 3A, koja je još uvek u formiranju, započela je tehnička rekultivacija 1996. godine nasipanjem humusa. Dinamika daljeg rada na rekultivaciji zavisi od dinamike formiranja flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj. U periodu od 1992. do 1998. godine, na degradiranim površinama ovog rudnika, zasađeno je ukupno 1.500.560 sadnica. Sadnja je vršena na starom površinskom kopu Bor, flotacijskom jalovištu Veliki Krivelj i sanitarnoj zoni površinskog kopa Cerovo. Zasađena je površina od oko 600 ha. Najviše je zastupljen bagrem (*Rubinia pseudoaccacia* L.), zatim javor (*Acer sp.*), jasen (*Fraxinus sp.*) i brest (*Ulmus sp.*). Prosečan procenat prijema je 48,8% (Dražić et al., 2008).

S obzirom da se u procesu flotiranja postiže efikasnost od oko 98% ekstrakcije metala, u flotacijskim jalovištima ostaje značajna količina teških metala, drugih mikroelemenata i hemikalija koje se koriste u samom procesu. Rudnička voda, pored povećanog sadržaja teških metala često ima i veoma kiseli karakter, $\text{pH} < 5$. Ponekad je raspadanje sulfida, naročito pirita toliko izraženo da vodotok predstavlja razblaženu sumpornu kiselinu, pa je ekosistem potpuno uništen kilometrima nizvodno (Dražić, 2011).

Prema Dražić et al. (2008), deposalne rudnika bakra u Majdanpeku karakteriše visoka varijabilnost svojstava, što je osnovna karakteristika antropogeno degradiranih zemljišta nastalih površinskom eksploatacijom ruda. Ova zemljišta karakterišu i visoke koncentracije toksičnih metala koji mogu biti ograničavajući faktor u rekultivaciji. U

ispitanim deposolima, konstatovana je izuzetno visoka aktivna, supstituciona i hidrolitička kiselost. Sadržaj ukupnog humusa je izuzetno nizak. Sadržaj ukupnog azota nizak je na svim ispitivanim lokalitetima, što ukazuje na izuzetno širok C/N odnos i slabe uslove za mineralizaciju organskog azota i njegovo pojavljivanje u pristupačnim oblicima. Ispitivani deposoli su siromašni u lako pristupačnim oblicima kalijuma i fosfora, koji su u izuzetnom deficitu, što za posledicu ima slabu ili nikakvu zastupljenost biljaka na ovim lokalitetima. Konstatovana je veoma slaba zastupljenost svih ispitivanih grupa mikroorganizama, a prisustvo *Azotobacteria* nije uopšte konstatovano.

Lilić et al. (2008b), su prikazali rezultate ogleadne biološke rekultivacije Polja 2 flotacijskog jalovišta Bor. Mere rekultivacije nisu u potpunosti sprovedene i nisu dale očekivane rezultate. Na bazi stečenih negativnih iskustava, autori predlažu mere za buduće kvalitetno projektovanje i profesionalno sprovođenje biološke rekultivacije, koja između ostalog podrazumeva početno višegodišnje održavanje zasada.

Dožić et al. (2010), su prikazali rezultate ogleada postavljenog na delu starog flotacijskog jalovišta Bor, u neposrednoj blizini naselja, u kome su u okviru biološke rekultivacije korišćene različite varijante oplemenjivanja supstrata i čiste jalovine pri sadnji i gajenju nekoliko vrsta drveća i trava. Rezultati pokazuju da je upotreba većeg broja drvenastih vrsta u rekultivaciji jalovišta rudnika u Boru moguća pri čemu su najbolji uspeh pokazale sadnice posađene u sloju plodnog zemljišta na jalovini i mešavini zemljišta i jalovine, jer od korišćenih vrsta najbolje preživljavanje, rast i fiziološku vitalnost pokazali su bagrem, jasen i javor, a najslabije smrča i hrast lužnjak.

Prema **Lilić et al.** (2008c), najveće promene u okruženju Cerovo-Cementacije (RBB, Bor), desile su se tokom eksploatacije rude bakra, u pravcu degradacije prostora i životne sredine. Zbog toga predlažu potpunu tehničku i biološku rekultivaciju degradiranog prostora kroz seriju kompleksnih mera.

Osim što je velika količina raskrivke problem, ona u specifičnim slučajevima može da doprinese i smanjivanju degradiranih površina, odnosno da olakša rekultivaciju (**Lilić et al.**, 2008d). Upravo takav slučaj je prisutan u Rudnicima bakra u Boru, gde je zatvoreni površinski kop Bor iskorišćen kao mesto gde se odlaže raskrivka sa aktivnog površinskog kopa Veliki Krivelj. Na taj način se rešavaju dva problema, tj. rešava se problem prostora za odlaganje raskrivke sa aktivnog površinskog kopa Veliki Krivelj,

bez dodatog degradiranja zemljišta, i rešava se problem tehničke rekultivacije zatvorenog površinskog kopa Bor, jer se na taj način zapunjava rupa kopa. Kada se završi proces zapunjavanja to će biti odlagalište sa ravnim platoom na koti K+450, koje nadvisuje okolni teren. Rekultivacija ravnog platoa je svakako neuporedivo lakša od rekultivacije kosina površinskog kopa.

Lilić et al. (2008e), ističu da degradirane površine nastale kao posledica jednovjekovnog rudarenja u Boru i okolini u mnogome ugrožavaju životnu sredinu, i da je do sada bilo više pokušaja da se one rekultivišu, ali ni jedan od njih nije dao zadovoljavajuće rezultate. Pre svega zbog toga što nije sprovedena odgovarajuća analiza supstrata i potpuna rekultivacija koja podrazumeva i 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, autori definišu u radu kompletan postupak rekultivacije brane 3A na flotacijskom jalovištu površinskog kopa Veliki Krivelj. Posebno se ističe da je proces rekultivacije dinamički analiziran i kod tehničke i kod biološke faze rekultivacije, što znači da je definisano i vreme izvođenja parcijalnih i postupnih radova. 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.

3. Mali površinski kopovi

Prema zakonskoj regulativi, za ovu vrstu kopova obavezna je izrada analize uticaja radova na životnu sredinu i projekata rekultivacije. Zahvaljujući odredbama ovih zakona, urađeni su brojni projekti, ali većinom nisu realizovani. Rekultivacija ovakvih kopova je poseban izazov, jer pruža mogućnost realizacije izuzetno kreativnih rešenja i stvaranje prostornih celina pogodnih za različite rekreativne aktivnosti. Često, kao posledica iskopa sirovine, po završetku eksploatacije ostaju depresije koje se ispunjavaju vodom formirajući atraktivne vodene površine pogodne za različite namene (**Dražić et al.**, 2008).

U pogonu "Belorečki pešćar", koji posluje u okviru RTB-a Bor, proizvodi se kvarcni pesak visokog kvaliteta. Rovni kvarc otkopava se površinski nakon čega se drobi i separatiše. Nusproizvod koji se dobija posle separacije je jalovina, koja se odlaže

u separaciono jalovište (Lilić et al., 2008a). U ovoj jalovini nema visokih koncentracija teških metala, niti reagenasa iz tehnološkog procesa, pa je samim tim i rekultivacija ovakvih jalovišta znatno jednostavnija. Autori u radu predlažu racionalno rešenje za rekultivaciju separacionog jalovišta čija je specifičnost u tome da usvojeni zasad topole, u konkretnim uslovima, brzo raste i nakon 15 godina može da se poseče i valorizuje kao tehničko drvo. Nakon toga sledi ponovna sadnja topole i ceo ciklus se ponavlja.

Prema **Ministarstvu prirodnih resursa, rudarstva i prostornog planiranja** (2014), u Republici Srbiji je registrovano 269 pravnih lica za oblast eksploatacije mineralnih sirovina i proizvodi se oko 70.000.000 t mineralnih sirovina. Razvojnim projektima sektora kao i strategijom upravljanja mineralnim resursima, projektovano je da do 2030. godine bude intenzivnija rudarska eksploatacija na energetskim resursima kao i otvaranje novih kopova uglja i povećanje proizvodnje sa 40.000.000 na 52.000.000 tona.

Nesporna je činjenica da će se mineralne sirovine u Srbiji i u budućnosti dobijati površinskom eksploatacijom. Ovo govori da će ovaj vid eksploatacije u budućnosti, pored već ugroženih područja, dodatno degradirati životnu sredinu uništavajući antropogene i prirodni bliske ekosisteme. Brojna istraživanja su dokazala da predeli pod uticajem površinskih kopova, svojim reljefom, vegetacijom, postojećim i potencijalnim vodenim površinama, kao i adekvatnim planiranjem daljih radova na rekultivaciji i pejzažnom uređenju mogu da pruže sve prirodne i druge preduslove za različite aktivnosti. Transformacije treba da omoguće da post-eksploatacioni predeli, uprkos drastičnim promenama u pejzažima i ekosistemima, postanu atraktivni i multifunkcionalno korisni stanovništvu okolnih naselja (Dražić, 2011).

3. MATERIJAL I METODE

Bor i okolina nalaze se u Istočnoj Srbiji. Sam Bor je na nadmorskoj visini oko 400 m, sa geografskim koordinatama 44⁰ 05' severne geografske širine i 22⁰ 06' istočne geografske dužine. Okolinu Bora čine planine koje su ogranci Karpata, a tu su i doline mnogih reka i potoka.

3.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

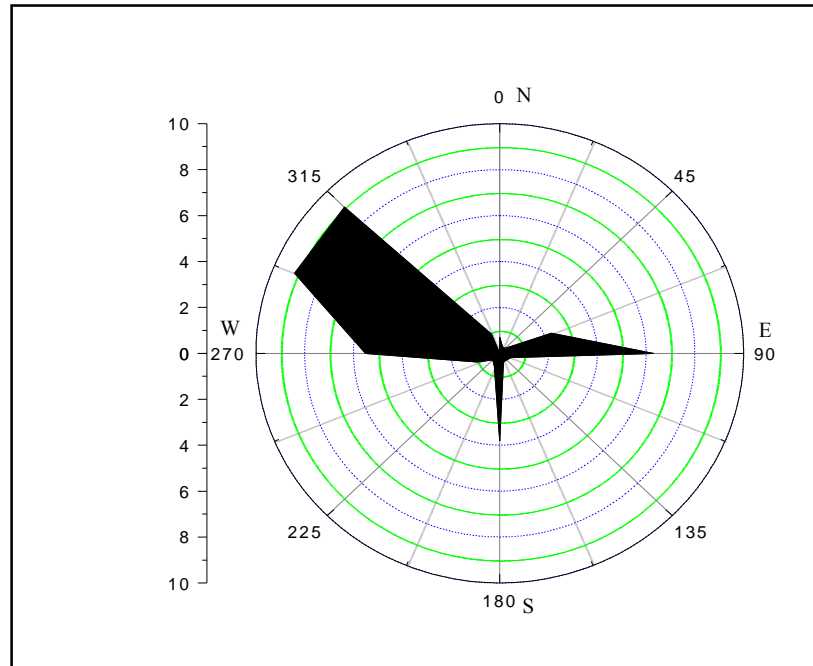
3.1.1. Klima

Za prikazivanje klimatskih karakteristika u Boru korišćeni su podaci mereni u periodu 2001–2014. godine u meteorološkoj stanici Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor. Opseg od 14 godina je uzet iz razloga što samo od 2001 godine ima dostupnih podataka.

Klima ovog područja je umereno kontinentalna do planinska, čije su karakteristike kratka topla leta i oštre duge zime.

U Boru, u navedenom periodu, srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 11,2°C, a srednji godišnji maksimum 17,5°C (tabela 1.) što odgovara nadmorskoj visini na kojoj se područje nalazi. Srednja mesečna temperatura je najniža u mesecu januaru i decembru. Najtopliji meseci su jul i avgust.

Iz tabele 2 se vidi da srednja godišnja količina padavina u Boru i okolini za navedeni period, iznosi 668,3 mm/m², a najvlažniji mesec je maj sa prosečnom količinom padavina 71,6 mm/m². Mart je mesec sa najmanjom količinom padavina od 40,1 mm/m². Bor i okolina spadaju u područja gde su pljuskovite padavine sa izlivom velikih količina vode retka pojava što je neuobičajeno u odnosu na učestale prodore sa severozapada koji donose dosta padavina. To je posledica zavetrenosti područja.



Slika 1. Ruža vetrova za područje Bora

Učestanost vetra prikazana je na slici 1. U Boru i okolini najčešća su severozapadna strujanja vetra, a zatim istočna. Južna strujanja su odmah iza ova dva prethodna, dok su najređi vetrovi sa severa i jugozapada. Severozapadni i istočni vetrovi su u svim godišnjim dobima pa i po mesecima najčešći. Najveće brzine se javljaju kod severozapadnih strujanja.

Na mikroklimu područja utiču degradirane površine površinskog kopa, odlagališta jalovine, njihova ekspozicija prema jugu i ogoljenost terena. Na površinama nema biljnog pokrivača i insolacija je povećana, zbog čega dolazi do povećanja temperature i isušivanja zemljišta.

Tabela 1. Temperatura vazduha (°C) za period 2001–2014. godine

Mes.sr God.													Godišnja	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	srednja	sr.maks.
2001.	0,4	3,1	8,6	10,1	16,1	17,5	23,1	23,7	15,4	13,3	3,9	-3,2	11,0	16,0
2002.	-0,2	6,8	8,4	9,5	17,3	21,2	22,8	20,3	16,1	10,5	6,7	-2,9	11,4	16,2
2003.	-1,2	-4,2	4,6	9,4	19,2	22,2	21,7	24,5	15,4	8,7	6,5	0,5	10,6	17,4
2004.	-2,6	1,75	6,0	11,3	14,1	19,6	21,8	21,1	15,7	12,1	5,8	1,2	11,8	17,9
2005.	1,2	-2,7	3,6	10,4	16,0	18,4	22,0	19,5	16,7	10,2	3,6	0,9	9,12	14,9
2006	-3,6	-0,8	4,3	10,7	15,4	17,3	21,6	19,8	16,0	12,3	6,1	2,9	11,4	18,3
2007	5,4	3,9	7,3	12,8	17,0	21,4	24,7	21,9	14,7	9,4	3,1	-0,9	11,7	18,5
2008	-1,9	2,7	7,6	12,0	17,0	20,8	21,6	23,2	15,0	11,9	5,4	0,9	12,1	19,2
2009	-1,0	0,4	5,1	12,0	17,2	19,3	21,9	21,9	17,4	10,4	7,6	1,1	11,1	17,6
2010	-3,0	-0,1	5,0	12,0	15,9	19,5	22,2	22,9	16,3	7,4	9,2	-1,1	10,5	17,4
2011	-0,1	-1,1	4,5	12,0	15,5	19,9	21,8	22,4	20,3	10,0	2,6	2,8	10,9	17,7
2012	-0,5	-5,1	7,7	12,5	15,7	22,3	25,1	23,6	19,3	11,6	7,0	-1,1	11,5	18,4
2013	0,1	1,6	3,2	12,9	17,5	19,9	22,5	23,7	15,7	11,4	6,8	0,1	11,3	17,2
2014	-1,5	2,8	8,6	10,5	14,3	18,9	20,8	21,0	16,1	10,5	4,8	1,3	11,8	18,2
Srednja	-0,8	0,7	5,5	12,3	16,3	19,2	22,4	22,1	16,4	11,8	6,4	0,2	11,2	17,5

Tabela 2. Padavine (mm) za period 2001–2014. godine

Mes. God.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godišnji prosek	Godišnja suma
	2001.	27,6	28,5	47,2	53,2	57,2	49,4	3,2	6,8	42,0	8,0	28,9	8,3	50,7
2002.	10,8	2,1	11,0	53,9	43,9	62,8	121,1	128,6	76,8	89,5	32,4	95,6	60,7	728,5
2003.	68,3	25,8	3,4	58,8	82,5	29,3	45,8	7,8	42,5	86,6	19,3	46,1	43,0	516,2
2004.	42,1	43,1	30,5	47,4	86,2	86,0	22,0	23,1	50,2	45,1	83,5	24,0	53,0	613,2
2005.	46,8	68,7	14,6	34,7	37,7	18,7	36,8	81,8	8,8	43,0	50,8	62,8	40,5	505,2
2006.	53,1	77,5	49,4	60,5	25,3	158,6	82,8	66,3	25,6	13,4	21,4	45,5	59,8	679,4
2007.	33,0	36,0	26,9	11,6	104,3	58,2	4,1	120,8	39,6	132,9	113,5	32,3	59,4	713,2
2008.	44,8	56,5	41,9	50,6	5,8	63,0	39,4	55,0	115,9	28,0	27,1	151,2	56,6	679,2
2009.	61,2	47,0	47,4	18,5	73,4	123,0	48,2	38,7	51,4	97,4	125,7	131,2	71,9	863,1
2010.	84,9	131,0	68,5	62,6	70,6	75,3	77,3	18,6	36,4	103,1	109,7	89,1	77,3	927,1
2011.	24,4	68,7	49,4	12,4	46,1	25,2	58,0	19,5	12,5	15,6	1,4	26,6	30,0	359,8
2012.	72,8	82,5	1,8	61,3	166,3	12,1	62,1	17,5	7,4	62,9	39,5	87,3	56,1	673,5
2013.	49,9	120,5	86,7	29,1	60,3	11,6	5,1	13,2	54,5	44,9	75,6	1,4	46,1	552,8
2014.	78,1	18,5	82,2	96,5	143,3	81,9	75,3	91,2	95,8	36,9	35,0	102,3	78,1	937,0
Prosek	49,8	57,6	40,1	46,6	71,6	61,1	48,7	49,3	47,1	57,7	54,7	64,6	55,9	668,3

3.1.2. Karakteristike jalovišta

Rudarstvo i metalurgija su osnovne delatnosti Borske opštine, ali su i osnovni uzroci i izvori degradacije zemljišta.

Otvaranjem površinskih kopova trajno je uništeno zemljište zbog samih kopova, formiranja odlagališta raskrivki i flotacijskih jalovišta. Izlivanjem jalovine iz flotacijskog jalovišta u Boru uništeno je najplodnije zemljište u dolinama Borske reke i Velikog Timoka u Srbiji i Bugarskoj. Rudarenjem je degradirano poljoprivredno zemljište Bora, Slatine, Oštrejla, Krivelja, Bučja i Donje Bele Reke. Ispuštanjem otpadnih voda iz flotacija i sa jalovišta potpuno je uništeno zemljište katastarskih opština Slatine, Rgotine, Vražogrnca i brojnih sela u dolini Velikog Timoka. Otpadnim gasovima iz topionice, u većoj ili manjoj meri, oštećena su zemljišta gotovo svih sela Borske opštine. Površine oštećenog zemljišta procenjuju se na preko 25500 ha, što čini 60,6% poljoprivrednog zemljišta opštine (**SO Bor**, 2003). Kiselost zemljišta je velika na poljoprivrednim površinama koje neposredno okružuju rudarsko-metalurški kompleks. Kiselost zemljišta utiče na njegovu plodnost i povećava pokretljivost teških metala.

Veliki obim i visok stepen oštećenja okolnog zemljišta doveo je i do pada poljoprivredne proizvodnje, proizvodnje nekvalitetnih životnih namirnica, osiromašenja poljoprivrednika, visokih cena životnih namirnica na lokalnom tržištu, pad standarda svih stanovnika, nekvalitetnu ishranu koja utiče na rast i razvoj dece i zdravlje svih stanovnika ovog područja.

Procenjeno je da je u prvih 100 godina rudarenja u Boru i bližoj okolini odloženo preko 500 miliona tona jalovine sa površinskih kopova i preko 200 miliona tona flotacijske jalovine.

U okviru ove doktorske disertacije ispitivana su dva jalovišta Rudnika bakra - Bor (slika 2), a to su:

1. Kopovsko jalovište starog površinskog kopa Bor – Visoki Planir (u daljem tekstu **kopovsko jalovište**) i
2. Staro Borsko flotacijsko jalovište – Polje 2 (u daljem teks. **flotacijsko jalovište**).

Odabir je nastao na osnovu toga što oba jalovišta nisu odavno u funkciji i u njih se ne deponuje jalovina više od 20 godina, ali su još uvek istom merom „odgovorna“ za kompletno zagađenje područja kao i kada su bila u funkciji. To je više nego dovoljna osnova da se izvrše ispitivanja koja vode u pravcu njihove konačne rekultivacije.



Slika 2. Rudnik bakra Bor sa okolinom

3.1.2.1. Kopovsko jalovište

Površinski kop Bor je veliki i dubok. Otkopani prostor zatvorenog površinskog kopa je dubine oko 400 m i zapremine oko 240 000 000 m³ (**Bogdanović et al.**, 2011). Stvorena je velika količina otkopane jalovine, kao i veliki degradirani prostor, kop i planiri, koji su narušili životnu sredinu. Na ovom kopu eksploatacija je završena 1993. godine. Zbog velike količine raskrivke koja je odlagana pri eksploataciji Borskog površinskog kopa formirano je jalovište Visoki planir. Odlagalište je ukupne površine 276,59 ha, od čega kose površine čine 157,55 ha, a ravne površine 119,04 ha. Nepravilnog je oblika sa horizontalnim etažama i vrlo strmim kosinama, od 32° do 38°, visine oko 100 m. Mineralno-geološke karakteristike terena sačinjavaju uglavnom andenziti, hidrotermalno izmenjeni andenziti i njihovi piroklastiti. Andenziti i daciti kao i njihovi tufovi su obogaćeni bakarnom rudom.

Primenjene mere rekultivacije

Degradirane površine stvorene površinskim kopom i odlagalištem jalovine su veoma loših karakteristika tako da je njihova rekultivacija teška i dugotrajna. Planiri Borskog površinskog kopa su specifične degradirane površine pa i metodologije njihove rekultivacije mogu biti različite, zavisno od visine, površine, nagiba terena, ekspozicije i osobina podloge. Na ovakvim nagibima kosina nije se izvodila tehnička rekultivacija koja podrazumeva terasiranje kosina, pa samim tim nema ni biološke rekultivacije. Rekultivacija je izvodljiva samo na ravnim etažama.

U periodu od 1979. do 1986. godine je izvršena biološka rekultivacija sadnjom različitog sadnog materijala u jame. Kompost je dodavan u svaku jamu u koju su sađene po dve sadnice drveća. U tabeli 3 je prikazana dinamika sadnje od 1979. do 1986. godine.

Tabela 3. Dinamika sadnje drveća na kopovskom jalovištu Visoki planir Rudnika bakra – Bor u periodu 1979-1986. godine (**Milijić, 1997**)

Godina	Broj sadnica	Vrsta sadnica	% prijema sadnica
1979.	5.000	bagrem	40
1982.	120.000	bagrem	60
1983.	80.000	bagrem	70
1984.	96.000	bagrem	70
1985.	198.000	bagrem	70
1986.	100.000	bagrem	70
Ukupno	599.000	-	-

S obzirom da se sadnji posvetila velika pažnja, dobar prijem sadnica je očekivan. Sadnju je obavila vojska, savesno i stručno, pa je to još jedan važan razlog za uspeh. Na slici 3. je prikazan prijem sadnica i uspešnost rekultivacije iz ovog perioda sadnje.



Slika 3. Deo kopovskog jalovišta Visoki planir Rudnika bakra – Bor, koji je rekultivisan sadnjom drveća u periodu 1979-1986. godine

U periodu od 1986. do 1992. godine nije pošumljavano ovo degradirano područje. U tabeli 4. je prikazana dinamika sadnje od 1992. do 1996. godine, gde se može videti da je procenat prijema bio lošiji nego u prethodnom sadnom periodu. Sadnju su izveli

učenici osnovnih i srednjih škola. Radovi nisu kvalitetno izvedeni, a ni sam izbor sadnica nije adekvatan u potpunosti, jer neke od izabраниh vrsta ne mogu da prežive na ovakvoj podlozi. Takođe je i vreme sadnje bilo neodgovarajuće, odnosno sa sadnjom se zakasnilo.

Tabela 4. Dinamika sadnje drveća na kopovskom jalovištu Visoki planir

Rudnika bakra – Bor u periodu 1992-1996. godine (**Milijić, 1997**)

Godina	Broj sadnica	Vrsta sadnica	% prijema sadnica
1992.	13.960	bagrem, platan, breze, lipa, topola, jasen, amorfa	40
1993.	120.000	vrba, topola, divlja kruška, klen, breza, bagrem	40
1994.	300.000	bagrem, crni bor	30
1995.	500.000	bagrem, jasen, javor, brest, vrba, trešnja	60
1996.	341.000	bagrem, jasen, javor, brest, tamariks, hrast, lipa	40
Ukupno	1.274.960	-	-

Sadnja 1997. i 1998. god. je imala izuzetno loš prijem. Sadnja je obavljena u jamama, ali bez ikakvih dodataka, u čistu jalovinu. Loš kvalitet izvedenih radova može da ima veće posledice nego svi ostali faktori. Na slici 4. prikazan je izgled površinskog kopa na kojoj je izvedena rekultivacija kasnijih godina, i na kojoj ima veoma malo vegetacije.



Slika 4. Deo kopovskog jalovišta Visoki planir Rudnika bakra – Bor, koji je neuspešno rekultivisan sadnjom drveća 1997. i 1998. godine

Imajući u vidu da se radi o vrlo velikim nagibima kosina, od 32° i više, kao i o tome da se radi o starim jalovištima na kojima je u površinskom delu došlo do stvaranja tvrde pokorice, postoji tehnički problem izvođenja rekultivacije.

Vegetacija

Danas je kopovsko jalovište gotovo golo, bez vegetacije. Samo sporadično je prisutna breza (*Betula pendula* L.), divlja kruška (*Pyrus pyraster* L.) i grmovi iz porodice *Rosaceae* divlja kupina i divlja ruža (*Rubus caesus* L. i *Rosa canina* L.). Među vrstama iz porodice *Poaceae* dominira vlasasto proso (*Panicum spp.*) i pirevina (*Agropyrum repens* L.). Prisutne su i mlečika (*Euphorbia spp.*) i puzava petoprsta (*Potentilla reptans* L.).

3.1.2.2. Flotacijsko jalovište

Od početka rada flotacije u Boru, 1933. godine, pa sve do 1987. godine flotacijska jalovina je odlagana u Polje 2. Nakon toga više nije bilo deponovanja jalovine u ovo polje. Polje 2 je bubrežastog oblika, Prema skorašnjim podacima geodetske službe RBB-a površina jalovišta Polja 2 sa krunom brane iznosi oko 50 ha, od čega je 7,7 ha pod vodnim ogledalom, što nekada nije bila situacija, jer je površina vodenog ogledala po projektu zauzimala 23,236 ha. Procenjuje se da je u njemu oko 23 miliona tona jalovine (RBB, 1991). Radi se o materijalu sitnog granulometrijskog sastava, nastalom eksploatacijom rude bakra pomešanim sa reagensima u procesu flotiranja. Na slikama 5 i 6 je prikazan izgled ispitivanog flotacijskog jalovišta.



Slika 5. Izgled flotacijskog jalovišta Rudnika bakra – Bor

Među mineralima u jalovini dominira pirit, a pored njega tu su i halkopirit, kovelin, anargit, halkozin, molibdenit, magnetit, hematit, limonit, malahit itd. Od nerudnih minerala prisutni su silikati, kvarc i ređe karbonati.

Osim specifičnosti podloge, na ovom području specifična je i mikroklima jalovišta. Leti je zagrevanje površine znatno veće, a zimi su znatno niže temperature u odnosu na okolno zemljište. Samim tim je nepravilan i raspored padavina. Zbog većih amplituda temperatura i vetrovi su jači.



Slika 6. Raznošenje jalovine vetrom na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra – Bor

Prema **RBB** (1991), 1991. godine je navežen sloj zemljišta debljine u proseku 40cm na južnom delu jalovišta, na površini od 16,42 ha, na kojoj je na jednom delu zasejana trava, a na drugom delu su zasađene sadnice drveća. Prijem je bio dobar. Veći deo zasada je ipak propao zbog rasejavanja čestica flotacijske prašine sa delova nerektivisanog jalovišta, kao i zbog neprimenjivanja mera nege zasada nakon sadnje.

Godine 1996. je Služba ekologije i eksproprijacije zemljišta RBB-a Bor izvela sadnju drvenastih vrsta i setvu trava na oglednoj površini od 25 ari u čistu jalovinu. U postavljanju ovog oglednog polja bilo je mnogo propusta i rezultati su bili veoma loši.

Vegetacija

Flotacijsko jalovište je uglavnom golo, bez vegetacije. Na rektivisanom delu je veoma sporadično prisutna breza (*Betula pendula* L.), grmovi iz porodice *Rosaceae* divlja ruža i divlja kupina (*Rosa canina* L. i *Rubus caesus* L.), i nekoliko vrsta iz porodice *Poaceae* među kojima dominira tvrdača i pirevina (*Nardus stricta* L. i *Agropyrum repens* L.) Ponegde se pojavljuju divizma i mahovina (*Verbascum phlomoides* L. i *Bryopsida* spp.).

3.2. Terenska istraživanja zemljišta

Istraživanjima su obuhvatila zemljišta dva jalovišta rudnika bakra Bor i prirodna zemljišta iz neposredne okoline oba jalovišta:

1) Kopovsko jalovište "Visoki planir" površine oko 100 ha, i to površine obuhvaćene rektivacijom na kojoj su od 1979. do 1998. godine zasađena stabla više vrsta listopadnog drveća, nerektivisane površine jalovišta, kao i okolno prirodno zemljište u neposrednoj blizini kopovskog jalovišta.

2) Flotacijsko jalovište "Polje 2", ukupne površine oko 50 ha i to površine obuhvaćene rektivacijom (1991. godine nanesen je zemljišni materijal iz pozajmišta), nerektivisane površine jalovišta, kao i kontrolno prirodno zemljište iz okoline lokaliteta koje je poslužilo kao pozajmište pri rektivaciji.

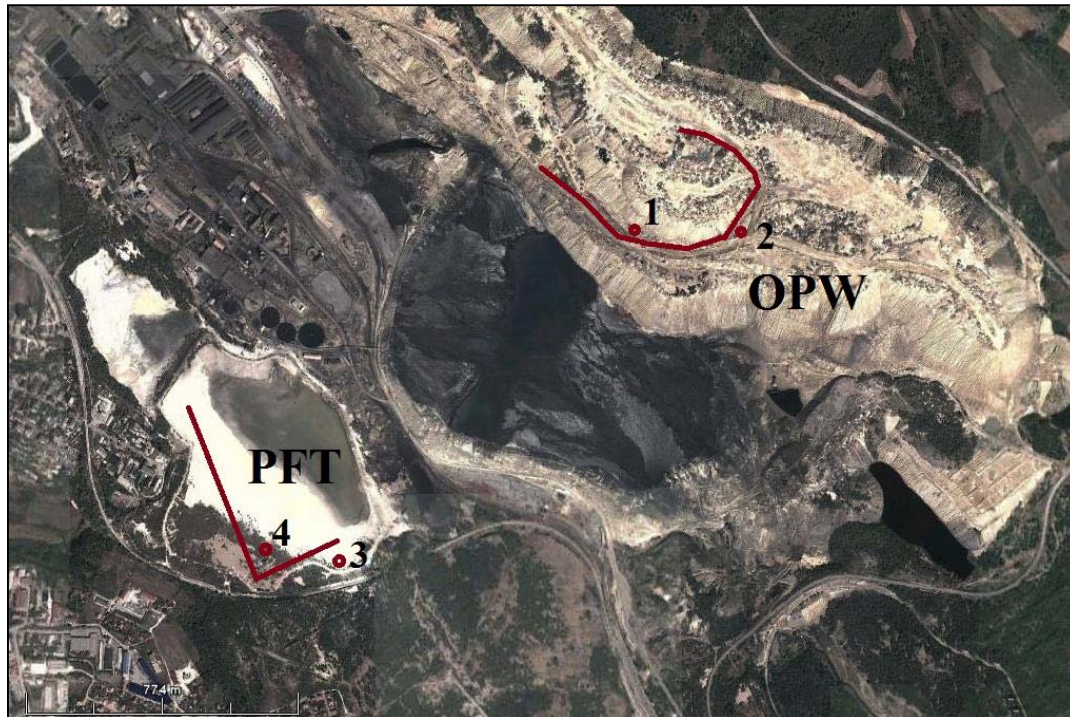
Istraživanja su se odvijala u tri faze: 1) terenska istraživanja i uzimanje uzoraka zemljišta, 2) laboratorijska ispitivanja fizičkih, hemijskih i mikrobioloških karakteristika i 3) statistička obrada podataka.

Istraživanja su izvedena na pedološkim profilima i pojedinačnim površinskim uzorcima zemljišta, na oba ispitivana lokaliteta (slika 7). Terenska istraživanja su obavljena 2010. godine.

Otvorena su 4 reprezentativna pedološka profila do dubine od 100 cm (po dva na svakoj od gore pomenutih površina), opisani su pedogenetski faktori i ekto i endomorfološke osobine zemljišta. Uzeti su uzorci zemljišta u narušenom i nenarušenom stanju (cilindrima od 100 cm³) za laboratorijska ispitivanja (**FAO**, 2006). Otvoreni reprezentativni profili i lokaliteti na kojima su otvoreni su bliže opisani u tabeli 5. Na kopovskom jalovištu su otvoreni profili broj 1 i 2 na zaravnjenim površinama izvan rupa u koje je sađeno drveće. Reprezentativni profili su otvoreni na mestima gde je jalovina imala različitu boju i skeletnost. Na flotacijskom jalovištu jedan profil je otvoren na rekultivisanom delu zemljišta, na koji je vetar naneo flotacijski materijal sa nerektivisanog dela jalovišta i on je označen kao profil broj 3, a drugi profil je otvoren na rekultivisanom delu zemljišta i on je označen kao profil broj 4, Boja zemljišta je određena prema Munsell atlasu boja.

Tabela 5. Generalne karakteristike lokaliteta i otvorenih profila zemljišta

Profil	Lokalitet	Geografske koordinate i nadmorska visina	Vegetacija	Opis zemljišta
1	Cu kopovsko jalovište, površina glavne terase, nagnuto, jugozapadna ekspozicija.	44°04'23.62''N, 22°07'25.68''E 420 m n.m.	Grmovi sporadično	Veoma slabo razvijeno zemljište sa dva sloja (C1-C2) do dubine 100 cm od površine; deponija jalovine iz otvorenih kopova, skeletan materijal, složene boje.
2	Cu kopovsko jalovište, glavne terase deponije, slabo nagnuta, jugozapad.	44°04'21.34''N, 22°07'43.50''E 451 m n.m.	Sporadično bagrem, malo trava	Slabo razvijen profil (C1-C2). Slojevi formirani kao kod profila 1, ali različite boje i skeletnosti.
3	Cu postflotacijska jalovina, rekultivisani deo na koji je vetar naneo novi sloj jalovine, ravno.	44°03'52.29''N, 22°06'51.43''E 366 m n.v.	Bez vegetacije	Profil sa tri sloja (C1-A-C2) do dubine od 100 cm od površine. Horizont A, formiran rekultivacijom, predstavlja mešavinu površinskog prirodnog zemljišta i jalovine. C1 je sloj svetlo žute postflotacijske jalovine koji je naneo vetar sa nerektivisanog dela jalovišta. Sloj C2 sadrži jednolično obojenu jalovinu koja je nastala procesom flotiranja.
4	Cu postflotacijsko jalovište, rekultivisana površina, ravno.	44°03'52.90''N, 22°06'42.04''E 368 m n.v.	Trave	Profil sa dva sloja (A-C). Horizont A i sloj C formirani su kao A i C2 u profilu 3.



Slika 7. Područje istraživanja i pravac uzorkovanja: OPW - kopovsko jalovište; PFT - flotacijsko jalovište

Kako se očekuje da posledice rekultivacije jalovišta kao i eventualni "spontani" pedogenetski procesi najviše ostaju u površinskom sloju, pored uzoraka uzetih iz reprezentativnih profila, na svakom od ispitivanih jalovišta su uzeti i pojedinačni uzorci u narušenom stanju iz površinskog sloja. Na oba ispitivana jalovišta uzeto je po 30 pojedinačnih uzoraka do dubine 0-25 cm.

Na flotacijskom jalovištu dva pojedinačna površinska uzorka (27 i 28), su sadržavala dve vrste jalovine, koje su se razlikovale po boji i mehaničkom sastavu. Jalovine su razdvojene (uzorci 27a i 27b, 28a i 28b) i analizirane zasebno tako da su unutar flotacijskog jalovišta analizirana ukupno 32 uzorka.

Od ukupno 32 uzorka, 21 se odnosi na rekultivisani, a 11 na nerektivisani deo jalovišta. Uzorci su uzeti sa rekultivisanog i nerektivisanog dela oba jalovišta na rastojanju od oko 20-30 m. Zbog nepristupačnosti jalovišta i karakteristika njihove površine bilo je veoma otežano kretanje i uzimanje uzoraka. Na kopovskom jalovištu jedini mogući pravac je bio pravac glavne terase, a na flotacijskom jalovištu u obliku slova L.

Zbog bolje ocene stanja zemljišta na nerektivisanom, a naročito na rekultivisanom delu oba jalovišta, vršeno je njihovo poređenje sa prirodnim zemljištima. Za poređenje sa zemljištima kopovskog jalovišta otvoren je pedološki profil (broj 5) i uzeto je pet pojedinačnih površinskih uzoraka (0-25 cm dubine) iz prirodnih zemljišta u okolini kopovskog jalovišta. Za poređenje sa zemljištima flotacijskog jalovišta otvoren je jedan profil (broj 6) i uzeto je pet pojedinačnih površinskih uzoraka (0-25 cm dubine) iz prirodnih zemljišta u okolini naselja Novi Gradski Centar u Boru. Pri izgradnji pomenutog naselja skidan je površinski sloj zemlje, koji je poslužio za rekultivaciju flotacijskog jalovišta, rekonstrukcijom površinskog sloja. Kontrolni uzorci prirodnog zemljišta su uzeti po pravoj liniji na rastojanju od oko 100 m.

3.3. Laboratorijska istraživanja zemljišta

Fizičke i hemijske karakteristike su određene prema **Reeuwijk** (2002), ako nije navedeno drugačije, sledećim metodama:

- Mehanički sastav - pipet metodom, priprema Na-pirofosfatom.
- Vodootporni strukturni agregati - mokrim prosejavanjem (**Angers i Mehuys**, 1993).
- Stabilnost strukture je vrednovana na osnovu prosečnog prečnika vodootpornih agregata (MWD) prema **Le Bissonais** (1996), i indeksa stabilnosti strukture (SI), prema **Pieri** (1992).
- Specifična gustina zemljišta - metodom sa ksilolom.
- Zapreminska gustina zemljišta - termogravimetrijskom metodom.
- Ukupna poroznost - računski.
- Koeficijent filtracije - metodom sa promenljivim hidrauličkim pritiskom.
- Osnovni kapaciteti zemljišta za vodu – na osnovu retencije vode na različitim pritiscima (aparati t Pressure Plate Extractor i Pressure Plate Extractor Richarda)
- pH u vodi i 1M KCl - elektrometrijskom metodom (odnos zemljište:voda ili KCl 1:2,5).
- Sadržaj organskog ugljenika - dihromatnom metodom, množenjem koeficijentom 1,724 je preveden u sadržaj humusa.
- CEC - atomskom apsorpcionom spektrometrijom; metoda sa NH₄-acetatom.

- Izmenljiva kiselost - titrimetrijskom metodom sa KCl.
- Hidraulička kiselost - titrimetrijski sa BaCl₂ i trietanoaminom.
- Totalni kapacitet adsorpcije katjona i stepen zasićenosti zemljišta baznim katjonima- računskim putem.
- Grupni sastav humusa - metodom Kononove & Belčikove (**JDPZ**, 1966). Sastav humusa je određen u 21 površinskom uzorku zemljišta flotacijskog jalovišta i 1 uzorku kopovskog jalovišta gde je sadržaj humusa bio veći od 0,5%, kao i u kontrolnim površinskim uzorcima. U ostalim uzorcima sa jalovišta zbog niskog sadržaja humusa nije bilo moguće izvesti analizu.
- Ocena stanja humusa – prema Grišinu & Orlovu (**Орлов**, 1985).
- Elementarni sastav sitnog zemljišta - rendgenskom fluorescentnom spektroskopijom (EDXRF), koja je izvedena korišćenjem mili - zraka spot XRF spektrometra. Spektrometar (in-house razvijen na Vinča Instituta za nuklearne nauke, Beograd).

Mikrobiološka aktivnost zemljišta je ispitivana sledećim metodama:

- Brojnost ukupnih bakterija dobijena je 0,1xTSA (Tryptic Soy Agar) determinacijom formiranih kolonijalnih jedinica (colony-forming units -CFU g⁻¹ zemljišta).
- Brojnost gljiva - rose bengal agar and streptomycin (**Peper et al.**, 1995).
- Brojnost aktinomiceta - starch ammonia agar.
- Brojnost *Azotobacter* sp. - Fyodorov`s agar.
- Aktivnost dehidrogenaze (DHA) - prema metodi **Casida et al.** (1964),
- Aktivnost fosfomonoesteraze (PMA) - prema metodi **Tabatabai** (1994).

3.4. Statistička obrada podataka

Za analizu podataka su korišćene: deskriptivna statistika, korelaciona analiza, t-test (u programu StartSoft Statistica 7.0) i PCA (u programu IBM SPSS Statistics 19). Statistička značajnost kod korelacione analize i t-testa je 95% (*) gde je $p < 0,05$ i 99% (**) gde je $p < 0,01$. Korelacionom analizom određena je međusobna zavisnost fizičkih, hemiskih i mikrobioloških osobina zemljišta kopovskog i flotacijskog jalovišta. Poređenje osobina zemljišta sa jalovišta (kopovskog i flotacijskog) i prirodnih kontrolnih zemljišta, međusobno poređenje zemljišta kopovskog i flotacijskog jalovišta, izvedena je t-testom i PCA analizom. Kako je priroda celog skupa fizičkih i hemijskih karakteristika zemljišta multivarijabilna neophodno je izvršiti njegovu redukciju dimenzija da bi se uočila struktura skupa, međusoban uticaj karakteristika i pojedinačan uticaj skupa. Redukcija dimenzija je izvršena korišćenjem analize glavnih komponenta (PCA).

4. REZULTATI

Rezultati istraživanja su prikazani zasebno za kopovsko, zasebno za flotacijsko jalovište, gde su dati i rezultati poređenja njihovih karakteristika sa kontrolnim prirodnim zemljištem. Zatim je prikazano poređenje zemljišta oba jalovišta zajedno sa svim kontrolnim uzorcima prirodnog zemljišta, kao i poređenje zemljišta kopovskog i flotacijskog jalovišta međusobno.

4.1. Kopovsko jalovište „Visoki planir“

4.1.1. Morfološke karakteristike zemljišta kopovskog jalovišta

Reprezentativni profili 1. i 2. prikazani su na slikama 8. i 9., a njihove morfološke karakteristike u tabeli 6. Profil 1 se sastoji od dva sloja do dubine od 100 cm. Površinski sloj, obeležen kao C1, je debljine 0-60 cm, a potpovršinski, C2, 60-100 cm, dokle je otvoren profil. Granica između slojeva je oštra i talasastog oblika. Slojevi se međusobno razlikuju, pre svega, po boji, koja je po celoj dubini složena. U površinskom C1 sloju dominira bledo žuta, oranž i svetlo braon boja, slede tamno crvena i crveno braon. Dominantna boja potpovršinskog C2 sloja je svetlo siva i sivo bela, dok je svetlo žuto braon manje zastupljena. Struktura oba sloja je srednje izražena, strukturni agregati su zrnasti, srednje veliki. U oba sloja zemljišta su slabo tvrde do tvrde konzistencije, lepljiva i plastična. Od bioloških aktivnosti registrovano je prisustvo malo sitnog korenja u površinskom sloju, dok u potpovršinskom sloju nije registrovana bilo kakva biološka aktivnost.

Profil 2 se sastoji takođe iz dva sloja do dubine od 100 cm. Površinski sloj C1, je dubine 0-65 cm, a potpovršinski, C2, 65-100 cm, dokle je otvoren profil. Prelaz između slojeva je oštar, a granica nepravilnog oblika. Profil karakteriše takođe složena boja zemljišta. U površinskom C1 sloju dominira bledo žuta, oranž i svetlo braon boja, slede siva i sivo bela. Dominantna boja potpovršinskog C2 sloja je svetlo žuto braon i sivo

Tabela 6. Morfološke karakteristike zemljišta na kopovskom jalovištu Rudnika bakra Bor.

Profil	Dubina (cm)	Horizont	Boja (suvo)		Boja (vlažno)		Struktura ^a	Konzistencija ^b	Korenov sistem ^c	Granica ^d
			dominantna	manje zastupljena	dominantna	manje zastupljena				
1	0-60	C1	5Y 8/4 2.5YR 7/6	10R 3/4 2.5YR 3/4	5Y 8/3 10YR 7/8	2.5YR 4/8	mo, gr, mc	shh, st, pl	f, v	c, w
	60-100	C2	10YR 8/2	10YR 7/6	5Y 8/3	10YR 4/6	mo, gr, mc	shh, st, pl	none	dno
2	0-65	C1	7.5YR 6/8 5/8	7.5Y 6/1 N 8/0 7/0 6/0	7.5YR 7/8 5/6	2.5GY 2/1	mo, gr, mc	sha, sst, spl	m, fe	c, i
	65-100	C2	10YR 6/8, N 7/0	N 4/0	10YR 5/8	N 4/0	mo, gr, mc	sha, sss, pl	f, v	dno

^a mo –srednje izražena, st –jako izražena; gr –zrnasti agregati; mc –srednji do krupni, fm –sitni do srednji.

^b lo –sipkava, so –drobljiva, sha –slabije tvrda, shh –slabije tvrda do tvrda, vha –veoma tvrda; nst –nije lepljivo, sst –slabo lepljivo, sss –slabo lepljivo do lepljivo, st –lepljivo; npl –nije plastično, spl –slabo plastično, pl –plastično.

^c f –sitni, m –srednji, fm –sitni i srednji; v –veoma malo, fe –malo.

^d a –isprekidana, c –jasna; s –postepena, w –talasasta, i –nepravilna

bela, dok je siva manje zastupljena. Struktura oba sloja je srednje izražena, strukturni agregati su zrnasti, srednje veliki. U oba sloja zemljišta su slabo tvrde konzistencije, slabo lepljiva i slabo plastična. Od bioloških aktivnosti registrovano je prisustvo korenovog sistema po celoj dubini profila, nešto korenja srednje veličine u površinskom sloju i nešto malo sitnih korenčića u potpovršinskom sloju.



Slika 8. Profil 1. na kopovskom jalovištu Rudnika bakra – Bor

Boja površinskih uzoraka je prikazana u tabeli 37. u Prilogu. Dominiraju različite nijanse žute, zatim braon i najmanje sive boje. U 77% površinskih uzoraka zemljišta struktura je srednje izražena sa pretežno zrnastim agregatima, sitnim i srednje veličine, a manjim delom su zastupljeni nepravilni uglasti agregati. Preostalih 23% uzoraka nemaju izraženu strukturu. U uzorcima koji nemaju izraženu strukturu nije

registrovana biološka aktivnost, dok su u ostalim uzorcima prisutni biljni korenovi i po koja grančica.



Slika 9. Profil 2. na kopovskom jalovištu Rudnika bakra – Bor

Prema WRB 2007 klasifikaciji (**IUSS Working Group WRB, 2007**) zemljište u prvom profilu kopovskog jalovišta može biti klasifikovano kao *Spolic Technosol (Phytotoxic, Skeletic)*, a zemljište profila 2 kao *Spolic Technosol (Phytotoxic, Endoskeletalic)*. Ispitivana zemljišta kopovskog jalovišta Rudnika bakra Bor pripadaju referentnoj grupi tehnosola (*Technosols*) jer sadrže 20% ili više artefakata do dubine 100 cm od površine zemljišta, koji imaju suštinski iste osobine kao kad su prvi puta iskopani ili modifikovani. Oba profila zadovoljavaju kriterijume za prefiks kvalifikator spolik (*Spolic*) jer sadrže više od 20% ili više artefakata (koji sadrže 35% ili više

rudarske jalovine) do dubine 100 cm od površine zemljišta. Profil 1 zadovoljava kriterijum za sufiks kvalifikator fitotoksik (*Phytotoxic*) zbog visoke koncentracije As i Cu, i skeletik (*Skeletal*), jer sadrži 47,15% i 45,29% zapreminskih skeleta po celoj dubini. Profil 2 zadovoljava kriterijum za sufiks kvalifikator fitotoksik (*Phytotoxic*) zbog visoke koncentracije As, i endoskeletik (*Endoskeletal*) jer sadrži 53,06% zapreminskih skeleta na dubini 65-100 cm.



Slika 10. Profil 3. na prirodnom kontrolnom zemljištu

Humusno akumulativni horizont profila 5 (slika 10), na prirodnom kontrolnom zemljištu u neposrednoj okolini rudnika je dubine 0-35 cm, veoma skeletna peskovita ilovača sa nižim sadržajem humusa.

4.1.2. Fizičke karakteristike zemljišta kopovskog jalovišta

Mehanički sastav ispitivanih profila kopovskog jalovišta prikazan je u tabeli 7, a ostale ispitivane fizičke karakteristike u tabeli 8. U tabeli 9 prikazani su vodni kapaciteti u profilima zemljišta na kopovskom jalovištu. Deskriptivni statistički podaci o fizičkim karakteristikama površinskih uzoraka zemljišta kopovskog jalovišta i prirodnog kontrolnog zemljišta prikazani su u tabeli 10, dok su originalni rezultati prikazani u poglavlju Prilozi u tabelama 38. i 39.

Tabela 7. Mehanički sastav zemljišta ispitivanih profila na kopovskom jalovištu

Rudnika bakra Bor (u %)

Profil	Dubina	Ukupan	Ukupan	Krupni	Sitni	Fizička	Prah	Glina
	cm	skelet >2 mm	pesak 2-0,02 mm	pesak 2-0,2 mm	pesak 0,2-0,02 mm	glina 0.02- 0.002 mm	0.02- 0.002 mm	< 0.002 mm
1	0-60	60,35	55,24	31,48	23,76	44,76	27,92	16,84
	60-100	63,41	52,04	29,12	22,92	47,96	30,60	17,36
2	0-65	39,26	56,84	31,33	25,51	43,16	26,40	16,76
	65-100	65,27	62,32	33,40	28,92	37,68	22,64	15,04

Zemljište u oba profila kopovskog jalovišta je jako skeletno, a po teksturnoj klasi je peskovita ilovača po celoj dubini profila. Površinski uzorci su takođe veoma skeletni, i lakšeg mehaničkog sastava, 50% su peskovite ilovače, 37% ilovasti peskovi i 3% ilovače.

Tabela 8. Fizičke karakteristike zemljišta na kopovskom jalovištu Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina	Specifična	Zapreminska	Ukupna	SI ^a	Koeficijent
	cm	masa g cm ⁻³	masa g cm ⁻³	poroznost %	%	filtracije cm s ⁻¹
1	0-60	2,42	1,28	52,94	0,80	0,00774
	60-100	2,48	1,40	43,55	0,71	0,00066
2	0-65	2,48	1,16	53,22	0,88	0,02108
	65-100	2,54	1,23	51,57	3,56	0,00385

^aSI-Indeks stabilnosti strukture

Tabela 9. Vodni kapaciteti u profilima zemljišta na kopovskom jalovištu (% maseni)

Profil	Dubina	PVK	LKV	VTUB	KPV
	cm	33 kPa	625 kPa	1500 kPa	PVK-VTUB
1	0-60	25,11	15,11	11,79	13,32
	60-100	25,40	16,17	10,61	14,79
2	0-65	13,86	7,81	6,49	7,37
	65-100	11,91	6,47	5,51	6,40

Kao što je već rečeno, struktura oba reprezentativna profila (br.1 i 2) po celoj dubini je srednje izražena, a strukturni agregati su zrnasti, srednje veličine. Otpornost strukturnih agregata prema vodi je ispitivana na površinskim uzorcima. Rezultati ukazuju da apsolutno preovlađuju vodoneotporni mikroagregati <0,25 mm, kojih u proseku ima više od sume svih vodootpornih makroagregata >0,25 mm. Među vodootpornim agregatima najmanje ima frakcije veličine 0,25-0,5 mm i 3-2 mm, dok su ostale tri frakcije u proseku slične po sadržaju. Najširi raspon i najveće variranje prisutno je u najkrupnijoj frakciji > 3 mm. Prosečni prečnik vodootpornih agregata, MWD je u korelaciji sa stabilnosti agregata. Indeks stabilnosti strukture, SI, predstavlja način procene opasnosti od degradacije strukture.

Prema MWD vrednostima, najveći deo, 40% površinskih uzoraka, je srednje stabilne strukture, slede uzorci nestabilne strukture 33%, zatim stabilne sa 17%, dok je veoma stabilne strukture 7%, a veoma nestabilne 3% površinskih uzoraka. SI parametar ukazuje na strukturno degradirana zemljišta, jer 90% uzoraka ima SI<5, 3% je pod visokim rizikom od strukturne degradacije, a samo 7% je stabilne strukture.

Zemljišta kopovskog jalovišta su porozna u površinskom sloju, a u podpovršinskom porozna ili slabo porozna. Poroznost se sa dubinom smanjuje u oba horizonta.

Propusnost zemljišta kopovskog jalovišta je u površinskom sloju veoma velika, a u potpovršinskom sloju umereno velika, znači sa dubinom se smanjuje i propusnost za vodu.

Vodni kapaciteti zemljišta na kopovskom jalovištu veoma su niski i naglašeno niski u profilu broj 2.

Rezultati korelacione analize nekih karakteristika površinskih uzoraka zemljišta sa kopovskog jalovišta (tabela 11) pokazuju da ne postoji značajna korelaciona zavisnost između veličine vodootpornih strukturnih agregata i mehaničkog sastava

zemljišta, kao ni između veličine agregata i ispitivanih hemijskih karakteristika zemljišta.

Tabela 10. Fizičke karakteristike površinskih (0-25 cm) uzoraka kopovskog jalovišta Rudnika bakra Bor i prirodnih kontrolnih uzoraka

Karakteristika zemljišta	Kopovsko jalovište ($n=30$)			Prirodno zemljište ($n=5$)			
	(mm)	min.	maks.	prosek±st.dev	min.	maks.	prosek±st.dev
Mehanički sastav (%)	ukupan skelet	5,93	67,38	43,87±18,60	0	0	0
	kamen	0	22,69	6,94±7,32	0	0	0
	šljunak	5,93	64,70	36,93±16,06	0	0	0
	ukupan pesak	51,52	88,76	74,99±9,59	26,40	58,84	36,84±13,03
	krupni pesak	23,90	55,41	44,36±8,27	4,24	23,91	11,13±7,63
	sitni pesak	18,88	38,71	30,63±5,55	22,16	34,93	25,71±5,44
	prah	7,28	42,80	16,10±7,91	15,20	30,32	23,76±5,78
	glina	0,92	23,52	8,52±4,85	19,96	47,20	39,40±11,39
Vodootporni strukturni agregati (%)	> 3	0,84	31,71	9,75±7,74	0,51	71,51	36,48±30,10
	3-2	1,47	13,12	5,55±2,64	3,02	11,32	7,37±3,59
	2-1	3,99	15,66	10,19±3,04	0,64	30,02	13,49±11,1
	1-0.5	6,88	17,70	12,02±2,51	4,01	20,71	11,44±7,32
	0.5-0.25	1,93	11,48	4,99±2,04	0,68	2,16	1,35±0,68
	<0.25	36,56	74,57	57,49±10,18	12,14	62,55	29,87±22,26
	>0.25	25,43	63,44	42,51±10,18	0,51	71,51	36,48±22,26
MWD ^a	0,38	2,28	1,01±0,46	0,77	4,20	2,52±1,55	
SI ^b	0,25	9,20	2,26±2,08	2,41	5,66	4,52±1,28	

^aMWD - prosečni prečnik vodootpornih strukturnih agregata, ^bSI - indeks stabilnosti strukture

Tabela 11. Koeficijent korelacije fizičkih i hemijskih karakteristika površinskih (0-25 cm) uzoraka zemlje kopovskog jalovišta

Parametar	Vodootporni strukturni agregati (mm)							MWD ^a	pH u H ₂ O	Humus	CEC
	>3	3,0-2,0	2,0-1,0	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25				
ukupni skelet	0,11	-0,07	0,15	-0,34	-0,22	0,02	-0,02	0,08	0,43	0,26	
kamen	-0,25	-0,31	0,04	0,05	-0,03	0,26	-0,26	-0,27	0,12	-0,06	
šljunak	0,24	0,06	0,15	-0,42	-0,24	-0,10	0,10	0,22	0,44	0,32	
ukupni pesak	0,02	0,18	0,39	-0,01	-0,15	-0,15	0,15	0,08	0,38	0,21	
krupni pesak	0,24	0,13	0,15	-0,28	-0,43	-0,10	0,10	0,23	0,43	0,44	
sitni pesak	-0,32	0,12	0,45	0,40	0,39	-0,10	0,10	-0,21	0,02	-0,30	
prah	0,13	0,19	-0,02	-0,31	-0,30	-0,01	0,01	0,13	0,38	0,05	
glina	0,10	-0,20	-0,57	-0,25	-0,36	0,28	-0,28	0,00	-0,16	-0,03	-0,20
pH voda	0,24	0,29	0,08	-0,26	-0,34	-0,15	0,15	0,25	-	0,73**	-0,13
humus	0,21	0,24	0,17	-0,18	-0,21	-0,19	0,19	0,23	0,73**	-	-0,11

^aMWD - prosečni prečnik vodootpornih strukturnih agregata; ** - p<0,01

4.1.3. Hemijske karakteristike zemljišta kopovskog jalovišta

Hemijske karakteristike zemljišta reprezentativnih profila 1 i 2 na kopovskom jalovištu su prikazane u tabeli 12, a deskriptivni statistički podaci za pojedinačne površinske uzorke u tabeli 13. Originalni podaci o hemijskim karakteristikama površinskih uzoraka su prikazani u Prilogu u tabelama 40 i 41.

Reakcija zemljišta u oba profila je ekstremno kisela (izuzev u sloju C2 profila 2, gde je jako kisela). Na kopovskom jalovištu 60% površinskih uzoraka zemljišta ima ekstremno kiselu reakciju, 30% slabo do veoma jako kiselu, i samo 10% neutralnu ili baznu.

Zemljišta oba profila karakteriše visoka razmenjiva, a pogotovo hidrolitička kiselost. Istovremeno su izražene niske vrednosti sume adsorbovanih baznih katjona tako da je stepen zasićenosti zemljišta baznim katjonima nizak, naročito u potpovršinskim slojevima. U pojedinačnim površinskim uzorcima sa kopovskog jalovišta takođe su izmerene visoke vrednosti razmenjive i hidrolitičke kiselosti, dok su vrednosti kapaciteta katjonske izmene srednje.

Sadržaj humusa je veoma nizak u oba sloja profila 1. Ne postoji značajna razlika u sadržaju humusa u ova dva sloja. U profilu 2 sadržaj humusa je takođe veoma nizak u površinskom sloju, dok je u potpovršinskom veći u poređenju sa površinskim. Dakle, u profilu 2 je zapaženo povećanje sadržaja humusa sa dubinom što znači odstupanje od uobičajene situacije u prirodnim zemljištima. Sadržaj humusa u površinskim uzorcima je takođe veoma nizak, pa je kod 67% $<0,5\%$, u 20% se kreće $0,5-1\%$, i u samo 13% uzoraka je $>1\%$. Zbog niskog sadržaja humusa na kopovskom jalovištu sastav humusa je bilo moguće odrediti na samo jednom površinskom uzorku. Rezultati ukazuju na fulvatno-humatni tip humusa.

Tabela 12. Hemijske karakteristike zemljišta kopovskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina	pH		Razmenljiva	Hidrolitička	S	T	V	C	Humus
	cm	H ₂ O	KCl	kiselost	kiselost			%	%	%
1	0-60	3,59	3,20	3,76	32,17	5,73	37,90	15,12	0,21	0,36
	60-100	3,12	2,92	3,47	26,17	0,45	26,62	1,69	0,20	0,34
2	0-65	4,29	3,99	4,74	11,13	22,01	33,14	66,41	0,22	0,38
	65-100	5,52	5,22	5,97	3,60	-	-		0,78	1,34

Tabela 13. Hemijske karakteristike površinskih (0-25 cm) uzoraka kopovskog jalovišta Rudnika bakra Bor i prirodnih kontrolnih uzoraka

Karakteristika zemljišta	Kopovsko jalovište (n=30)			Prirodno zemljište (n=5)		
	min.	maks.	prosek±st.dev	min.	maks.	prosek±st.dev
pH u H ₂ O	3,00	7,36	4,53±1,26	5,40	7,46	5,98±0,86
pH u KCl	2,77	6,53	4,03±1,12	4,28	6,58	4,93±0,96
Razmenljiva kiselost (m.ekv.)	0	5,82	4,13±1,33	1,51	5,70	4,58±1,74
Hidrolitička kiselost (m.ekv.)	0	27,72	17,48±8,34	2,27	17,22	11,24±5,52
CEC (m.ekv.)	14,75	28,60	23,44±3,37	27,50	46,25	39,80±7,17
C (%)	0,07	1,21	0,31±0,27	0,86	2,42	1,69±0,69
Humus*(%)	0,12	1,78	0,53±0,47	1,49	4,17	2,91±1,20
Ch (%)	-	-	11,43	11,85	24,79	18,91±4,63
Cf (%)	-	-	15,71	10,40	22,33	16,72±5,57
Huminske (%)	-	-	72,86	58,25	77,75	64,37±8,58
Ch:Cf	-	-	0,73	0,84	1,68	1,20±0,37

*Zbog niskog sadržaja humusa sastav humusa je određen samo na jednom uzorku;
Ch - huminske kiseline; Cf - fulvo kiseline; Ch:Cf - odnos huminskih i fulvo kiselina

Rezultati elementarne analize zemljišta reprezentativnih profila kopovskog jalovišta prikazani su u tabeli 14. za makroelemente, i u tabeli 15. za mikroelemente. Upoređivanjem sadržaja makroelemenata u zemljištima ispitivanog kopovskog jalovišta sa prosečnim, po **Essington** (2004), najnižim i najvišim vrednostima izmerenim u površinskom sloju tzv. normalnih zemljišta (koja nisu kontaminirana ili mineralizovana), može se reći da se njihov sadržaj kod svih uklapa u navedeni opseg. Međutim, sadržaj većine mikroelemenata je iznad gornje granice pomenutog opsega. Upoređivanjem sadržaja mikroelemenata sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama, MDK, definisanih nacionalnom regulativom u **Službenom glasniku RS (1994)**, vidi se da su u kopovskom jalovištu povećane koncentracije Cu u profilu 1 u površinskom sloju, a u profilu 2 u podpovršinskom sloju. Zatim, koncentracija As je iznad MDK u svim slojevima oba profila na kopovskom jalovištu. Sledeća karakteristika kopovskog jalovišta je da nema pravila po pitanju kretanja koncentracije makro i mikroelemenata po dubini (sadržaj većine elemenata se u jednom profilu povećava sa dubinom, a u drugom se smanjuje).

Tabela 14. Koncentracije makroelemenata u zemljištu na kopovskom jalovištu Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina cm	Si	Fe	Ca	K	Ti
1	0-60	179000	49700	24500	10900	3420
	60-100	194000	67700	17900	12750	4820
2	0-65	189000	41800	33300	16700	3520
	65-100	161000	38100	45700	14650	3780
Prosečne vrednosti ^a		250000	2000	700	80	2700
		410000	550000	500000	37000	26000

^aProsečne vrednosti ukupne koncentracije elemenata u površinskom sloju normalnih zemljišta u svetu, normalno zemljište znači da nije kontaminirano ili mineralizovano (Essington, 2004)

Tabela 15. Koncentracije mikroelemenata u zemljištu kopovskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina cm	Mn	Cu	Pb	Sr	Zn	As
1	0-60	173	122	<10	303	<20	67,2
	60-100	67	73	40,1	363	<20	119,0
2	0-65	324	84	32,8	52,6	126	46,3
	65-100	1309	127	41,5	133	318	49,4
Prosečne vrednosti ^a		270	13	30	87	45	4,4
		530	24	120	210	100	9,3
MDK ^b		-	100	-	-	300	25

^aProsečne vrednosti ukupne koncentracije elemenata u površinskom sloju normalnih zemljišta u svetu, normalno zemljište znači da nije kontaminirano ili mineralizovano (Essington, 2004)

^bMaksimalno dozvoljene količine definisane nacionalnom regulativom (Službeni glasnik RS, 1994)

Korelaciona analiza zavisnosti makro i mikroelemenata, sa ostalim karakteristikama zemljišta, je dala sledeće rezultate: sadržaj K je u pozitivnoj korelaciji sa pH u vodi i KCl ($r=0,71^*$ i $0,76^*$). Sadržaj Ti je u pozitivnoj korelaciji sa glinom ($r=0,71^*$), a u negativnoj sa poroznošću zemljišta ($r=-0,69^*$). Sadržaj Mn je veći što je veći sadržaj humusa ($r=0,87^{**}$) i pH ($r=0,77^*$). Sadržaj Cu je veći u slojevima sa više

gline ($r=0,67^*$) i humusa ($r=0,67^*$). Korelaciona analiza se odnosi na zemljišta oba jalovišta.

Rezultati korelacione analize podataka za površinske uzorke zemljišta (tabela 11), pokazuju da su na kopovskom jalovištu statistički značajno povezani samo pH i sadržaj humusa.

4.1.4. Mikrobiološke karakteristike zemljišta kopovskog jalovišta

Rezultati brojnosti mikroorganizama u zemljištu prikazani su u tabeli 16, a aktivnost enzima u tabeli 17. Generalno, mikrobiološka aktivnost ovih zemljišta je veoma niska. Broj ukupnih bakterija i sporogenih bakterija se sa dubinom smanjuje. Azotobakter se pojavljuje samo u površinskom sloju profila 2, a aktinomicete se uopšte ne pojavljuju. Odsustvo aktinomiceta posledica je veoma kisele reakcije zemljišta kopovskog jalovišta. Gljive se javljaju samo u profilu 2, i njihov broj se povećava u potpovršinskom sloju. Aktivnost fosfomonoesteraze (PME) i dehidrogenaze (DHA) sa dubinom nema jednako kretanje u oba profila, u jednom se povećava, a u drugom smanjuje.

Tabela 16. Brojnost mikroorganizama u zemljištu kopovskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina	Ukupne bakterije	Sporogene bakterije	<i>Azotobacter</i> sp.	Actinomicete	Gljive
	(cm)			(CFU 10^3 g ⁻¹)		
1	0-60	15,12	8,25	0,00	0,00	0,00
	60-100	6,12	2,04	0,00	0,00	0,00
2	0-65	10,31	0,69	0,02	0,00	0,07
	65-100	4,81	0,00	0,00	0,00	0,48

Tabela 17. Aktivnost fosfomonoesteraze (PME) i dehidrogenaze (DHA) u zemljištu kopovskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina (cm)	PME		DHA ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{h}^{-1}$)
		acidni ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	alkalni	
1	0-60	6,60	0,62	3,98
	60-100	7,44	2,65	6,91
2	0-65	0,72	2,16	8,78
	65-100	2,06	0,20	2,78

Brojnost ukupnih bakterija je u pozitivnoj korelaciji sa sadržajem gline ($r=0,72^*$) i Cu ($r=0,86^{**}$). *Azotobacter* sp. takođe pokazuje pozitivnu korelaciju sa glinom ($r=0,88^{**}$). Alkalna PME je u visokoj korelaciji sa glinom ($r=0,80^{**}$) kao i sa *Azotobacter* sp. ($r=0,76^{**}$). Acidni PME je u pozitivnoj korelaciji sa Fe ($r=0,81^{**}$). Aktivnost DHA se smanjuje sa povećanjem brojnosti svih grupa mikroorganizama, ali ta zavisnost nije statistički značajna. Navedene korelacione zavisnosti se odnose na zemljišta oba jalovišta.

4.1.5. Poređenje zemljišta kopovskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta

Značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između zemljišta kopovskog jalovišta i kontrolnog prirodnog zemljišta je prikazana u tabeli 18. Rezultati t-testa pokazuju da zemljišta kopovskog jalovišta u površinskom sloju u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištem imaju značajno veći sadržaj krupnog peska i vodootpornih strukturnih agregata frakcije 0,5-0,25 mm. Značajno je manji sadržaj praha, gline i humusa, a takođe imaju niže vrednosti pH i niži CEC. Vrednosti razmenljive i hidrolitičke kiselosti se ne razlikuju značajno između zemljišta kopovskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta.

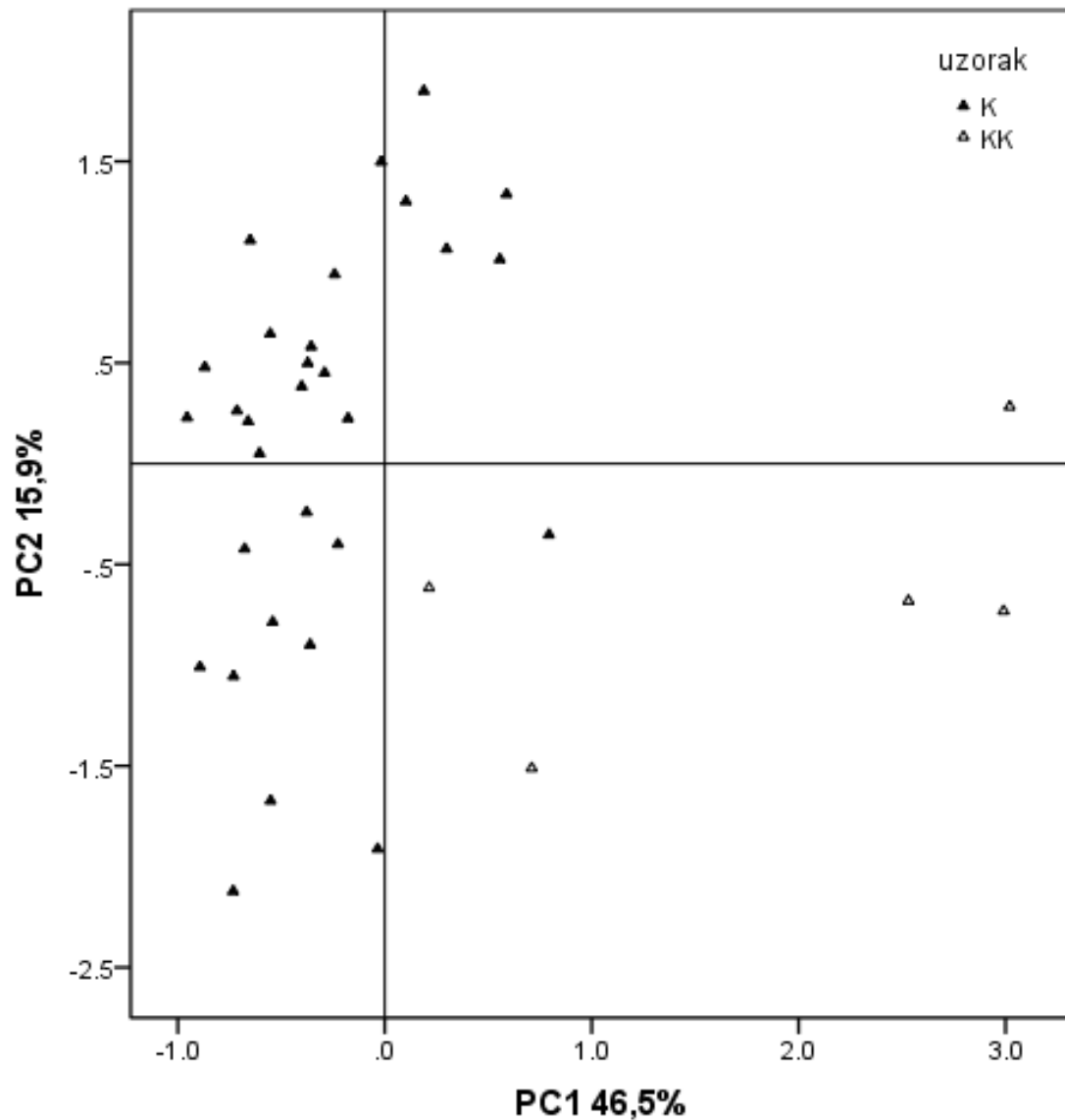
Tabela 18. Veličina i značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između površinskih uzoraka (0-25 cm) kopovskog jalovišta i prirodnog zemljišta

Parametar	t	p
Ukupan pesak	4,443376	0,011304
Krupni pesak	4,799301**	0,008653**
Sitni pesak	0,65125	0,550406
Prah	-3,20215*	0,032833*
Glina	-4,97720**	0,007613**
Vodootporni strukturni agregati (mm)	>3	0,252999
	3-2	0,324979
	2-1	0,388378
	1-0.5	0,806230
	0.5-0.25	0,044886*
	<0.25	0,115921
	>0.25	0,115920
MWD	-1,52752	0,201348
SI	-1,48543	0,234111
Humus	-3,62040*	0,22349*
pH u vodi	-3,50802*	0,024716*
pH u KCl	-2,74534	0,051621
Razmenljiva kiselost	-1,72310	0,159976
Hidrolitička kiselost	1,590779	0,186868
CEC	-3,92250*	0,017211*

*- $p < 0,05$; **- $p < 0,01$

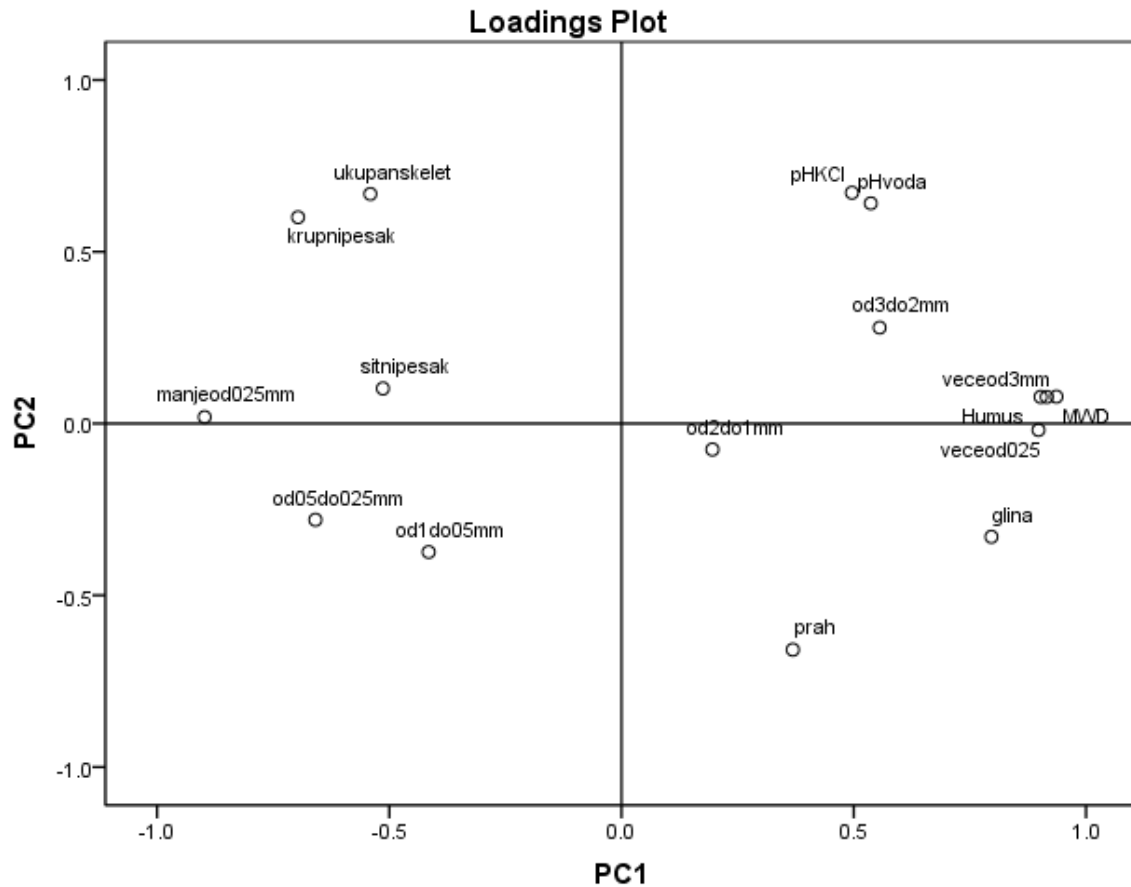
Da bi se stekao bolji uvid u karakteristike ispitivanih zemljišta na kopovskom jalovištu izvršeno je njihovo poređenje sa prirodnim zemljištima i primenom PCA na skup podataka formiranih od 30 površinskih uzoraka kopovskog i 5 površinskih uzoraka kontrolnih prirodnih zemljišta. Prema rezultatima PCA koji se mogu videti na grafikonu 1, prva komponenta PC1 opisuje 46,5%, a druga, PC2, opisuje 15,9% ukupne varijanse unutar skupa. Sa slike se može videti da je kohezija unutar grupe uzoraka sa kopovskog jalovišta veća od kohezije grupe prirodnih kontrolnih uzoraka. Ali uprkos vidljive

heterogenosti grupe kontrolnih prirodnih uzoraka lako se može videti jasna separabilnost grupe uzoraka sa kopovskog jalovišta i kontrolnih uzoraka.



Grafikon 1. Raspodela (Scores plot) površinskih uzoraka zemljišta kopovskog jalovišta (K) Rudnika bakra Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta (KK)

Na grafikonu 2. se može videti da su parametri koji karakterišu grupu uzoraka sa kopovskog jalovišta: skelet, krupan i sitni pesak, vodoneotporni mikroagregati <0,25 mm, kao i dve frakcije najsitnijih vodootpornih agregata (0,25-0,5 i 1-0,5 mm). Parametri koji karakterišu grupu kontrolnih prirodnih uzoraka su sve ostale krupnije frakcije vodootpornih agregata, MWD, glina i humus.



Grafikon 2. Raspodela (Loadings plot) odabranih fizičkih i hemijskih parametara

4.2. Flotacijsko jalovište "Polje 2"

4.2.1. Morfološke karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta

Morfološke karakteristike reprezentivnih profila 3 i 4 prikazane su u tabeli 19. Na rekultivisanom delu flotacijskog jalovišta mogu se naći troslojni profili (profil 3) i dvoslojni profili (profil 4).

Troslojni profil broj 3 (slika 11) na površini sadrži sloj jalovine, obeležen kao C1, koju je vetar transportovao sa nerekulativisanog dela flotacijskog jalovišta i on je dubine 0-15 cm. Ispod tog sloja nalazi se humusni horizont A dubine 15-60 cm, a ispod

njega je sloj jalovine, obeležen kao C2. Između sloja C1 i A horizonta granica je oštra i talasasta, kao i između A i C2. Humusni horizont ima jako izraženu strukturu, strukturni agregati su zrnasti sitni do srednje veličine. Oba sloja jalovine, C1 i C2, su bezstrukturni (jednočestična struktura). Kod profila br. 3, A horizont je tvrde, lepljive i plastične konzistencije. Površinski sloj C1 je sipkav i nije plastičan ni lepljiv, dok je C2 sloj rastresite konzistencije, lepljiv i plastičan. Kako iznad ovog horizonta uopšte nema vegetacije, zbog nanešenog sloja jalovine na površini, ni u samom zemljištu nije registrovana bilo kakva biološka aktivnost.



Slika 11. Profil 3. na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra Bor

Tabela 19. Morfološke karakteristike zemljišta na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina (cm)	Horizont	Boja (suvo)		Boja (vlažno)		Struktura ^a	Konzistencija ^b	Korenov sistem ^c	Granica ^d
			dominantna	manje zastupljena	dominantna	manje zastupljena				
3	0-15	C1	2.5Y 7/4	-	2.5Y 6/3 6/4	-	jednočestič.	lo, nst, npl	none	a, w
	15-60	A	7.5YR 5/3	-	7.5YR 4/3 4/4	-	st, gr, fm	vha, st, pl	none	a, w
	60-100	C2	5Y 8/1 2.5Y 8/1	-	2.5Y 8/1 8/2	-	jednočestič.	so, st, pl	none	dno
4	0-45	A	10YR 5/4	2.5Y 7/6	10YR 5/6	-	st, gr, fm	vha, st, pl	fm, v	a, s
	45-100	C	10YR 8/2	-	5Y 8/3, 7.5Y 8/3	-	jednočestič.	so, nst, npl	m, v	dno

^a mo –srednje izražena, st –jako izražena; gr –zrnasti agregati; mc –srednji do krupni, fm –sitni do srednji.

^b lo –sipkava, so –drobljiva, sha –slabije tvrda, shh –slabije tvrda do tvrda, vha –veoma tvrda; nst –nije lepljivo, sst –slabo lepljivo, sss –slabo lepljivo do lepljivo, st –lepljivo; npl –nije plastično, spl –slabo plastično, pl –plastično.

^c f –sitni, m –srednji, fm –sitni i srednji; v –veoma malo, fe –malo.

^d a –isprekidana, c –jasna; s –postepena, w –talasasta, i –nepravilna

Dvoslojni profil br. 4 (slika 12) na površini ima humusni A horizont dubine 0-45 cm, koji je formiran prilikom rekultivacije flotacijskog jalovišta, takozvanom rekonstrukcijom površinskog sloja, tj. navoženjem plodnog površinskog sloja sa pozajmišta. Ispod njega se nalazi sloj flotacijske jalovine C. Prelaz iz A horizonta u C je oštar i ravnog oblika. A horizont karakteriše zagasito žuto braon boja zemljišta koja dominira, a manje je zastupljena svetlo žuto braon boja. Potpovršinski sloj jalovine C je uniformne svetlo sive boje. Humusni horizont ima jako izraženu strukturu, strukturni agregati su zrnasti sitni do srednje veličine. Sloj C je bezstrukturnan (jednočestična struktura). Konzistencija A horizonta je veoma tvrda, lepljiv je i plastičan. Sloj C je rastresit, nije lepljiv i nije plastičan. Biološka aktivnost je evidentna po dubini celog profila u vidu biljnih korenova. Njih ima više u površinskoj zoni, sitni su i srednje veličine, a u dubljoj zoni ih ima veoma malo, srednje veličine.

Boja površinskih uzoraka je prikazana u tabeli 42 u Prilogu. Dominiraju različite nijanse braon boje, zatim sive i žute, odnosno oranž. Na flotacijskom jalovištu 43% površinskih uzoraka ima jako izraženu strukturu sa zrnastim strukturnim agregatima srednje veličine, 27% umereno izraženu strukturu sa zrnastim agregatima sitnim ili srednje veličine, i 30% uzoraka nemaju izraženu strukturu (jednočestična). U uzorcima koji su strukturni prisutni su ostaci korenova biljaka i nešto tanjih grančica, a u nestrukturnim uzorcima nema ostataka biljaka. Nestrukturni površinski uzorci potiču sa nerektivisanog dela jalovišta ili sa rektivisanog dela na kojem je došlo do nanošenja jalovine vetrom, i ti delovi nisu obrasli vegetacijom.



Slika 12. Profil 4. na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra – Bor

Prema WRB 2007 klasifikaciji (IUSS Working Group WRB, 2007) zemljište u profilu 3 flotacijskog jalovišta može biti klasifikovano kao *Spolic Technosol (Phytotoxic, Areninovic)*, a zemljište profila 4 kao *Spolic Technosol (Phytotoxic)*. Oba ispitivana zemljišta flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor pripadaju referentnoj grupi

tehnosola (*Technosols*), jer sadrže 20% ili više artefakata do dubine 100 cm od površine zemljišta. Oba profila zadovoljavaju kriterijume za prefiks kvalifikator spolik (*Spolic*) je sadrže više od 20% ili više artefakata (koji sadrže 35% ili više rudarske jalovine) do dubine 100 cm od površine zemljišta. Profil 3 zadovoljava kriterijum za sufiks kvalifikator fitotoksik (*Phytotoxic*) zbog visoke koncentracije As i Cu, i areninovic (*Areninovic*), jer iznad zemljišta sadrži 15 cm debeo sloj novog nanosa, ilovasto peskovitog mehaničkog sastava (sveži flotacijski materijal nanešen vetrom). Profil 4 zadovoljava kriterijum za sufiks kvalifikator fitotoksik (*Phytotoxic*) zbog visoke koncentracije As i Cu.



Slika 13. Profil 6 na prirodnom kontrolnom zemljištu u okolini Novog gradskog centra

Humusno akumulativni horizont profila 6 (slika 13), na prirodnom kontrolnom zemljištu iz okoline Novog gradskog centra je dubine 0-55 cm. Po svojim osobinama to je bezskeletna glinovita ilovača sa srednjim sadržajem humusa.

4.2.2. Fizičke karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta

Mehanički sastav ispitivanih profila flotacijskog jalovišta prikazan je u tabeli 20, a ostale ispitivane fizičke karakteristike u tabeli 21. U tabeli 22 prikazani su vodni kapaciteti u profilima zemljišta na flotacijskom jalovištu. Deskriptivni statistički podaci o fizičkim karakteristikama površinskih uzoraka zemljišta flotacijskog jalovišta i prirodnog kontrolnog zemljišta prikazani su u tabeli 23, dok su originalni rezultati prikazani u poglavlju Prilozi u 43. i 44. tabeli.

Tabela 20. Mehanički sastav zemljišta ispitivanih profila na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra Bor (u %)

Profil	Dubina	Šljunak	Ukupan pesak	Krupni pesak	Sitni pesak	Fizička glina	Prah	Glina
	cm	20-2 mm	2- 0,02 mm	2-0,2 mm	0,2- 0,02 mm	0.02- 0.002 mm	0.02- 0.002 mm	< 0.002 mm
3	0-15	0	82,36	49,28	33,08	17,64	5,00	12,64
	15-60	6,03	40,00	16,43	23,57	60,00	34,60	25,40
	60-100	0	45,20	10,25	34,95	54,80	36,36	18,44
4	0-45	11,32	51,76	20,73	31,03	48,24	23,24	25,00
	45-100	0	75,92	30,04	45,88	24,08	7,84	16,24

U profilu 3 zemljište je po teksturnoj klasi ilovasti pesak u C1 sloju, ilovača u A horizontu i C2 sloju. U profilu 4, peskovito glinovita ilovača u A horizontu i ilovasti pesak u C2 sloju. Skeleta (šljunka) ima nešto malo u oba profila u A horizontima koji su formirani rekultivacijom.

Površinski uzorci zemljišta flotacijskog jalovišta su bezskeletni i imaju veoma raznolik mehanički sastav. Dominira peskovito-glinovita ilovača, u 50% uzoraka, u 13% peskovita ilovača, 13% ilovasti pesak, 9% praškasta ilovača, 6% glinovita ilovača, 6% pesak, i 3% ilovača.

Tabela 21. Neke fizičke karakteristike zemljišta na flotacijskom jalovištu

Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina	Specifična masa	Zapreminska masa	Ukupna poroznost	SI ^a	Koeficijent filtracije
	cm	g cm ⁻³	g cm ⁻³	%	%	cm s ⁻¹
3	0-15	2,58	1,14	55,81	1,53	0,00994
	15-60	2,45	1,27	48,16	1,12	0,01095
	60-100	2,59	1,29	50,19	0,47	0,00316
4	0-45	2,45	1,19	51,43	1,69	0,00408
	45-100	2,61	1,27	51,34	0,61	0,00414

^aSI-Indeks stabilnosti structure**Tabela 22.** Vodni kapaciteti u profilima zemljišta na flotacijskom jalovištu (% maseni)

Profil	Dubina	PVK	LKV	VTUB	KPV
	cm	33 kPa	625 kPa	1500 kPa	PVK-VTUB
3	0-15	5,2	2,96	2,12	3,08
	15-60	24,47	13,31	10,55	13,92
	60-100	26,38	6,95	3,58	22,80
4	0-45	21,49	11,98	9,98	11,51
	45-100	10,34	5,05	0,27	10,07

Kao što je rečeno u morfološkim karakteristikama, humusni horizonti oba profila flotacijskog jalovišta imaju jako izraženu strukturu, strukturni agregati su zrnasti sitni do srednje veličine. Slojevi jalovine, površinski i podpovršinski su nestrukturni (jednočestična struktura). Analiza vodoopornosti strukturnih agregata površinskih uzoraka pokazuje da u većini uzoraka dominiraju vodoneotporni mikroagregati <0,25 mm nad vodoopornim makroagregatima >0,25 mm. Među vodoopornim frakcijama dominiraju frakcije veličine 0,25-1 i 1-2 mm, dok su preostale tri frakcije podjednako zastupljene. Uzorci sa nerekulivisanog dela jalovine ili rekulivisanog dela na koji je vetar naneo jalovinu uopšte nije bilo vodoopornih agregata >0,25 mm.

Tabela 23. Fizičke karakteristike površinskih (0-25 cm) uzoraka zemljišta flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor i prirodnih kontrolnih uzoraka

Karakteristika zemljišta	Flotacijsko jalovište (n=32)			Prirodno zemljište (n=5)			
	(mm)	min.	maks.	prosek±st.dev	min.	maks.	prosek±st.dev
Mehanički sastav (%)	ukupan skelet	0	36,23	9,73±9,83	0	0	0
	kamen	0	0	0	0	0	0
	šljunak	0	36,23	9,73±9,83	0	0	0
	ukupan pesak	20,76	95,48	61,21±18,29	35,92	51,60	44,25±5,61
	krupni pesak	0,22	33,99	19,49±10,48	10,56	22,13	17,13±4,16
	sitni pesak	1,54	87,12	41,75±17,80	23,71	33,57	27,12±3,78
	prah	2,32	64,20	21,59±15,06	25,56	29,60	27,28±1,61
	glina	0	31,04	16,88±9,17	20,20	37,44	28,47±6,51
Vodootporni strukturni agregati (%)	> 3	0	17,65	4,18±4,49	23,86	56,20	42,54±13,30
	3-2	0	17,28	3,84±4,23	7,41	10,69	9,32±1,38
	2-1	0	31,16	11,05±9,54	13,32	21,83	16,04±3,43
	1-0.5	0	57,85	15,03±12,54	4,76	11,48	8,03±2,68
	0.5-0.25	0	23,26	5,82±5,63	0,65	1,56	1,23±0,38
	<0.25	0	98,80	50,79±27,89	15,58	32,39	22,83±7,18
	>0.25	0	84,59	39,83±25,91	67,61	84,42	77,17±7,18
MWD ^a	0	1,72	0,69±0,48	2,00	3,55	2,91±±0,65	
SI ^b	0,11	10,49	3,5±1,11	6,94	12,31	10,55±2,17	

^aMWD - prosečni prečnik vodootpornih strukturnih agregata, ^bSI - indeks stabilnosti strukture

Tabela 24. Koeficijent korelacije nekih fizičkih i hemijskih karakteristika površinskih (0-25 cm) uzoraka zemljišta flotacijskog jalovišta

Parametar	Vodootporni strukturni agregati (mm)							MWD ^a	pH u H ₂ O	Humus	CEC
	>3	3,0-2,0	2,0-1,0	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25				
šljunak	0,69**	0,65**	0,56**	0,19	-0,11	-0,13	0,50**	0,70**	0,49**	0,69**	
ukupni pesak	-0,35	-0,19	-0,23	0,23	0,58**	0,23	0,06	-0,19	-0,16	-0,21	
krupni pesak	0,12	0,26	0,31	0,23	0,11	0,12	0,31	0,28	0,20	0,35	
sitni pesak	-0,43	-0,35	-0,42	0,10	0,53**	0,17	-0,12	-0,36	-0,28	-0,42	
prah	-0,05	-0,14	-0,19	-0,42	-0,57**	-0,03	-0,43	-0,23	-0,11	-0,21	
glina	0,79**	0,63**	0,77**	0,20	-0,25	-0,40	0,56**	0,76**	0,51**	0,75**	0,59**
pH voda	0,67**	0,49**	0,61**	0,32	-0,07	-0,60**	0,56**	0,64**	-	0,64**	0,41
humus	0,82**	0,62**	0,76**	0,44	-0,01	-0,26**	0,73**	0,85**	0,64**	-	0,59**

^aMWD - prosečni prečnik vodootpornih strukturnih agregata; ** - $p < 0,01$

Prema MWD vrednostima, najveći deo, 38%, površinskih uzoraka je nestabilne strukture, čak 28% veoma nestabilne, slede 25% uzoraka srednje stabilne strukture, i na kraju svega 9% uzoraka sa stabilnom strukturom. SI parametar ukazuje na strukturno degradirana zemljišta, jer čak 94% uzoraka ima $SI < 5$, a svega 7% uzoraka je stabilne strukture.

Zemljište flotacijskog jalovišta je porozno po dubini oba reprezentativna profila. U profilu 3 poroznost potpovršinskog A horizonta je manja od sloja C2 koji je ispod njega.

Propusnost zemljišta za vodu je veoma velika u gornja dva sloja u profilu 3, a umereno velika u najnižem C2. Najveću propusnost za vodu ima potpovršinski A horizont. U profilu 4 zemljište je velike propusnosti za vodu po celoj dubini.

Vodni kapaciteti zemljišta na flotacijskom jalovištu su veoma niski kako u A tako i u svim C horizontima.

Rezultati korelacione analize podataka prikazani su u tabeli 24. Što je veći sadržaj gline u površinskim uzorcima flotacijskog jalovišta, veći je i sadržaj krupnijih vodootpornih strukturnih agregata (>3, 3-2, 2-1 mm) kao i ukupnih vodootpornih makroagregata (>0,25 mm), i veće su vrednosti MWD. Frakcija šljunka je takođe u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa gore navedenim parametrima. Takođe, sadržaj pomenutih agregata kao i vrednosti MWD veće su što je veći sadržaj humusa i veće pH vrednosti. Istovremeno, što je veći sadržaj humusa i veći pH to je manji sadržaj vodoneotpornih mikroagregata (<0,25 mm).

4.2.3. Hemijske karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta

Hemijske karakteristike zemljišta reprezentativnih profila 3 i 4 na flotacijskom jalovištu su prikazane u tabeli 25, a deskriptivni statistički podaci za pojedinačne površinske uzorke u tabeli 26. Originalni podaci o hemijskim karakteristikama površinskih uzoraka su prikazani u Prilogu u tabelama 41 i 45.

Svi horizonti reprezentativnih profila su ekstremno kiseli. Kada su površinski uzorci zemljišta flotacijskog jalovišta u pitanju, 20% njih je takođe ekstremno kiselo, 70% slabo do veoma jako kiselo i svega 10% je neutralno.

Zemljišta oba profila flotacijskog jalovišta imaju izraženu hidrolitičku kiselost, a pogotovo razmenljivu kiselost kao i pojedinačni površinski uzorci zemljišta. Suma adsorbovanih katjona je niska u oba profila, pogotovo u slojevima jalovine, kako podpovršinskim tako i sloju nanetom vetrom na površini profila 3, gde su izmerene i najniže vrednosti totalnog kapaciteta za adsorpciju katjona i zasićenost baznim katjonima. Vrednosti kapaciteta katjonske izmene u površinskim pojedinačnim uzorcima sa flotacijskog jalovišta su veoma heterogene, u proseku oko 20 m.ekv./100 g zemljišta, ali sa veoma velikom standardnom devijacijom.

Tabela 25. Hemijske karakteristike površinskih (0-25 cm) uzoraka zemljišta flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor i prirodnih kontrolnih uzoraka

Karakteristika zemljišta	Flotacijsko jalovište (<i>n</i> =32)			Prirodno zemljište (<i>n</i> =5)		
	<i>min.</i>	<i>maks.</i>	<i>prosek±st.dev</i>	<i>min.</i>	<i>maks.</i>	<i>prosek±st.dev</i>
pH u H ₂ O	3,12	7,60	5,20±1,11	4,96	6,75	5,74±0,83
pH u KCl	2,21	6,50	4,15±1,05	4,06	5,89	4,87±0,87
Razmenljiva kiselost (m.ekv.)	1,13	6,19	4,47±1,46	3,95	6,02	5,01±0,76
Hidrolitička kiselost (m.ekv.)	1,90	30,87	10,64±6,99	7,15	31,52	18,13±9,99
CEC (m.ekv.)	5,75	40,00	20,70±10,28	34,00	56,50	43,90±9,51
C (%)	0,03	1,45	0,62±0,47	2,18	4,11	3,41±0,75
Humus (%)	0,05	2,50	1,07±0,81	3,76	7,08	5,88±1,28

Sadržaj humusa u svim horizontima oba profila je veoma nizak. U profilu 3 sadržaj humusa je veći u površinskom A horizontu (obrazovanom u procesu rekultivacije) u poređenju sa potpovršinskim C slojem. Kao i kod profila 2 kopovskog jalovišta, tako je i kod profila 3 flotacijskog jalovišta sadržaj humusa veći u potpovršinskom A horizontu u poređenju sa površinskim C1 slojem jalovine koju je naneo vetar. U pojedinačnim površinskim uzorcima sadržaj humusa je distribuiran sledećim redom: u 30% uzoraka je <0.5%, u 13% se kreće 0.5-1%, a u čak njih 57% je >1%. Na nerektivisanom delu flotacijskog jalovišta kao i rekultivisanom delu, na koji je vetar naneo jalovinu, sadržaj humusa je praktično jednak nuli.

Tabela 26. Hemijske karakteristike zemljišta na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina cm	pH		Razmenljiva kiselost m.ekv.	Hidrolitička kiselost m.ekv.	S m.ekv.	T m.ekv.	V %	C %	Humus %
		H ₂ O	KCl							
3	0-15	3,52	3,22	4,32	2,94	7,59	10,53	72,08	0,16	0,27
	15-60	4,17	3,52	4,44	17,84	15,36	33,20	46,26	0,39	0,67
	60-100	3,80	3,69	4,24	4,58	0,46	5,04	9,13	0,15	0,26
4	0-45	4,16	3,34	4,20	23,49	16,52	40,01	41,29	0,56	0,79
	45-100	3,82	3,40	4,28	5,93	0	5,93	0	0,06	0,10

Sastav humusa je određen u 21 površinskom uzorku zemljišta, gde je sadržaj humusa bio veći od 0,5%. Svi analizirani uzorci potiču sa rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta i prikazani su u poglavlju gde se porede karakteristike zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta i prirodnog kontrolnog zemljišta.

Tabela 27. Koncentracije makroelemenata u zemljištu flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina cm	Si	Fe	Ca	K	Ti
3	0-15	331000	16800	3300	6000	3540
	15-60	268000	35700	12700	15900	5470
	60-100	339000	7100	7400	4200	4460
4	0-45	295000	41000	11900	13120	4400
	45-100	377000	12200	9600	6000	2970
Prosečne vrednosti ^a		250000	2000	700	80	2700
		410000	550000	500000	37000	26000

^aProsečne vrednosti ukupne koncentracije elemenata u površinskom sloju normalnih zemljišta u svetu, normalno zemljište znači da nije kontaminirano ili mineralizovano (Essington, 2004)

Sadržaj nekih makroelemenata u zemljištu reprezentativnih profila flotacijskog jalovišta prikazani su u tabeli 27. Upoređivanjem sadržaja makroelemenata u zemljištima ispitivanog flotacijskog jalovišta sa prosečnim, po **Essington** (2004), najnižim i najvišim vrednostima izmerenim u površinskom sloju tzv. normalnih zemljišta (koja nisu kontaminirana ili mineralizovana), može se reći da se on kod svih uklapa u navedeni opseg. Sadržaj mikroelemenata je prikazan u tabeli 28, gde je vidljivo da je on kod većine mikroelemenata iznad gornje granice pomenutog opsega. Upoređivanjem sadržaja mikroelemenata sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK), definisanih nacionalnom regulativom u **Službenom glasniku RS (1994)**, vidi se da su u flotacijskom jalovištu povećane koncentracije Cu u profilu 3 u potpovršinskom sloju, a u profilu 4 u površinskom sloju. Kao i u profilima kopovskog jalovišta, koncentracija As je iznad MDK u svim slojevima oba profila na flotacijskom jalovištu. Takođe je karakteristika i flotacijskog jalovišta da nema pravila po pitanju

kretanja koncentracije makro i mikroelemenata po dubini (sadržaj nekog elemenata u jednom profilu može da se povećava sa dubinom, a u drugom se smanjuje). Koncentracije Cu u profilu 3, na dubini od 15-60 cm, prevazilazi čak i granične vrednosti date u regulativi EU (EC C, 1986).

Tabela 28. Koncentracije nekih mikroelemenata u zemljištu flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Profil	Depth cm	Mn	Cu	Rb	Sr	Zn	As
3	0-15	257	68	18,2	1106	<20	110,0
	15-60	1296	223	35,0	264	<20	60,9
	60-100	225	42	<10	1705	161	36,7
4	0-45	952	143	59,5	377	28	42,8
	45-100	176	<10	<10	891	<20	110,0
Prosečne vrednosti ^a		270	13	30	87	45	4,4
		530	24	120	210	100	9,3
MDK		-	100	-	-	300	25

^aProsečne vrednosti ukupne koncentracije elemenata u površinskom sloju normalnih zemljišta u svetu, normalno zemljište znači da nije kontaminirano ili mineralizovano (Essington, 2004)

^bMaksimalno dozvoljene količine definisane nacionalnom regulativom (Službeni glasnik RS, 1994)

Korelaciona analiza je dala sledeće rezultate: sadržaj K je u pozitivnoj korelaciji sa pH u vodi i KCl ($r=0,71^*$ i $0,76^*$). Sadržaj Ti je u pozitivnoj korelaciji sa glinom ($r=0,71^*$), a u negativnoj sa poroznošću zemljišta ($r=-0,69^*$). Sadržaj Mn je veći što je veći sadržaj humusa ($r=0,87^{**}$) i pH ($r=0,77^*$). Sadržaj Cu je veći u slojevima sa više gline ($r=0,67^*$) i humusa ($r=0,67^*$). Korelaciona analiza se odnosi na zemljišta oba jalovišta.

Korelaciona analiza rezultata za površinske uzorke zemljišta (tabela 22) pokazuje da je pH vrednost površinskih uzoraka zemljišta flotacijskog jalovišta značajno veća što je veći sadržaj gline i humusa. Vrednosti CEC su značajno veće u uzorcima sa većim sadržajem gline i humusa. Vrednosti CEC i pH u zemljištu flotacijskog jalovišta su u pozitivnoj korelaciji, ali ona nije statistički značajna.

4.2.4. Mikrobiološke karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta

Rezultati brojnosti mikroorganizama u zemljištu prikazani su u tabeli 29, a aktivnost enzima u tabeli 30. Kako kod kopovskog jalovišta, tako je i kod flotacijskog mikrobiološka aktivnost zemljišta veoma niska. Broj ukupnih bakterija i sporogenih bakterija se sa dubinom smanjuje. Izuzetak je profil 3 gde je broj ukupnih bakterija u površinskom C1 sloju, koji se sastoji od vetrom nanešene jalovine, manji nego u potpovršinskom A horizontu, koji je formiran rekultivacijom. Azotobakter se pojavljuje samo u A horizontima oba profila, a aktinomicete se uopšte ne pojavljuju. Gljive se javljaju u prva dva sloja profila 3 i površinskom sloju profila 5. Kao i kod kopovskog jalovišta, aktivnost fosfomonoesteraze (PME) i dehidrogenaze (DHA) sa dubinom nema jednako kretanje u oba profila, u jednom se povećava a u drugom smanjuje.

Tabela 29. Brojnost mikroorganizama u zemljištu na flotacijskom jalovištu

Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina	Ukupne bakterije	Sporogene bakterije	Azotobakter	Actinomicete	Gljive
	(cm)			(CFU 10 ³ g ⁻¹)		
3	0-15	6,67	4,00	0,00	0,00	0,67
	15-60	26,94	2,69	0,07	0,00	0,20
	60-100	6,80	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0-45	12,24	4,76	0,12	0,00	0,41
	45-100	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00

Brojnost ukupnih bakterija je u pozitivnoj korelaciji sa sadržajem gline ($r=0,72^*$) i Cu ($r=0,86^{**}$). Azotobakter takođe pokazuje pozitivnu korelaciju sa glinom ($r=0,88^{**}$). Alkalna PME je u visokoj korelaciji sa glinom ($r=0,80^{**}$) kao i sa azotobakter ($r=0,76^{**}$). Acidni PME je u pozitivnoj korelaciji sa Fe ($r=0,81^{**}$). Aktivnost DHA se smanjuje sa povećanjem brojnosti svih grupa mikroorganizama, ali ta zavisnost nije statistički značajna. Navedene korelacione zavisnosti se odnose na zemljišta oba jalovišta.

Tabela 30. Aktivnost fosfomonoesteraze (PME) i dehidrogenaze (DHA) u zemljištu flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Profil	Dubina (cm)	PME		DHA ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{h}^{-1}$)
		acidni ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	alkalni	
3	0-15	5,00	0,50	9,43
	15-60	1,32	3,04	7,11
	60-100	0,61	0,92	9,24
4	0-45	2,24	3,18	6,04
	45-100	0,30	0,61	7,13

4.2.5. Poređenje zemljišta flotacijskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta

Značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između zemljišta flotacijskog jalovišta i kontrolnog prirodnog zemljišta je prikazana u tabeli 31. Površinski uzorci zemljišta flotacijskog jalovišta, u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima imaju značajno veći sadržaj sitnog peska i vodoneotpornih mikroagregata <0,25 mm, a značajno manji sadržaj gline, krupnijih vodootpornih agregata (frakcije >3, 3-2 i 2-1 mm), odnosno ukupnih vodootpornih makroagregata >0,25 mm i humusa. U njima su takođe značajno niže vrednosti prametara MWD i SI, zatim pH u vodi i KCl, kao i vrednosti CEC.

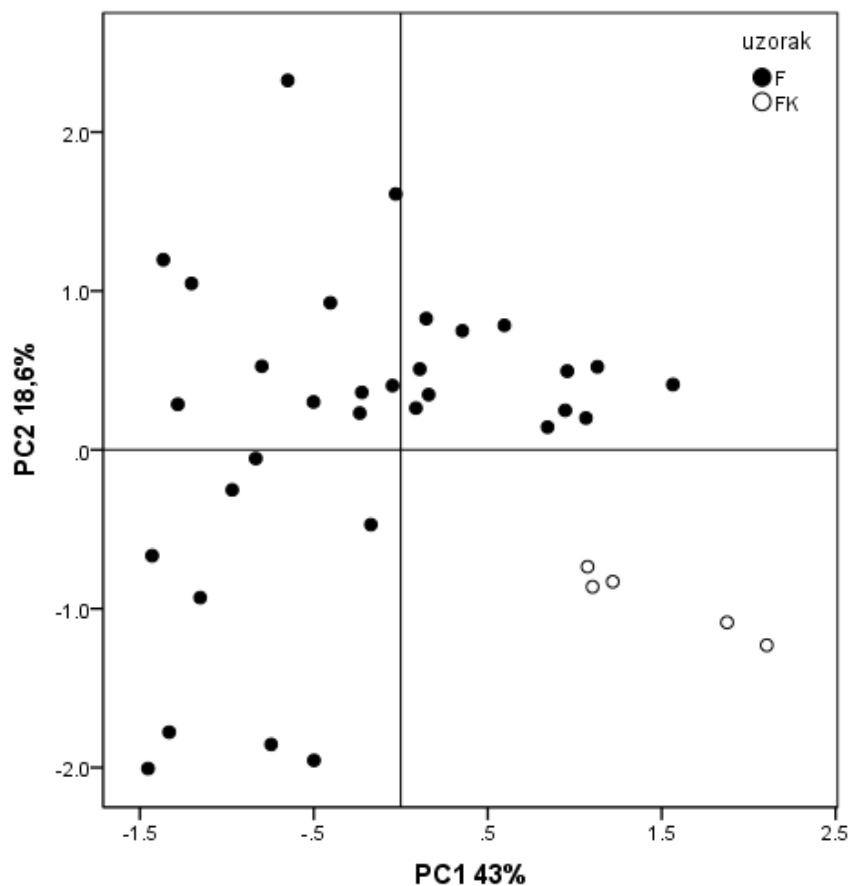
Tabela 31. Veličina i značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između površinskih uzoraka (0-25 cm) zemljišta flotacijskog jalovišta i prirodnog kontrolnog zemljišta

Parametar	t	p
Ukupan pesak	1,59612	0,185697
Krupni pesak	-1,2889	0,266922
Sitni pesak	4,27643*	0,012884*
Prah	0,43582	0,685453
Glina	-5,4060**	0,005670**
Vodootporni strukturni agregati (mm)	>3	-7,53219**
	3-2	-15,1566**
	2-1	-5,06577**
	1-0.5	-1,21174
	0.5-0.25	0,90962
	<0.25	13,6003**
	>0.25	-13,6003**
MWD	-9,86573**	0,000592**
SI	-12,2829**	0,000252**
Humus	-10,6953**	0,000433**
pH u vodi	-6,95695**	0,002243**
pH u KCl	-5,43031**	0,005579**
Razmenljiva kiselost	-1,45809	0,218563
Hidrolitička kiselost	-1,64327	0,175671
CEC	-10,7620**	0,000423**

*- $p < 0,05$; **- $p < 0,01$

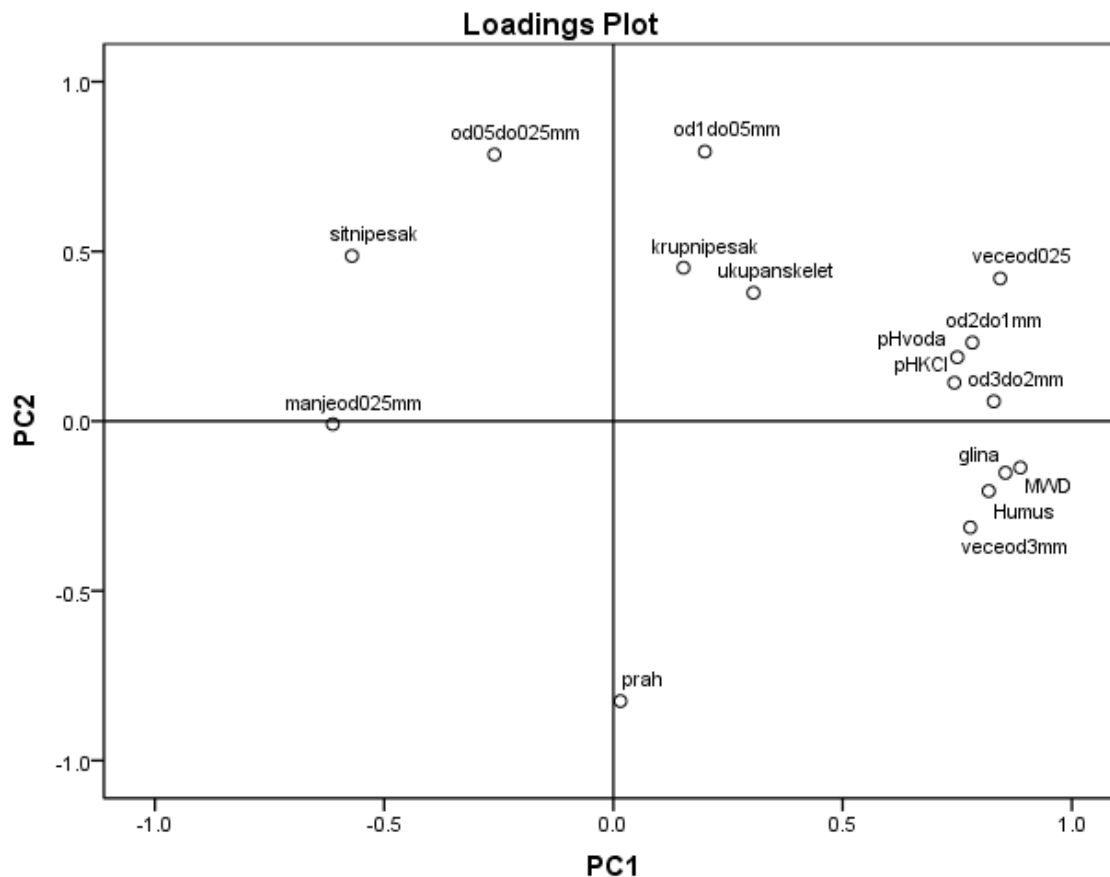
Da bi se stekao bolji uvid u karakteristike ispitivanih zemljišta na flotacijskom jalovištu izvršeno je njihovo poređenje sa prirodnim zemljištima i primenom PCA na skup podataka formiranih od 32 površinska uzoraka flotacijskog i 5 površinskih uzoraka kontrolnih prirodnih zemljišta iz okoline nekadašnjeg pozajmišta. Prema rezultatima PCA, koji se mogu videti na grafikonu 3, prva komponenta PC1 opisuje 43%, a druga, PC2 opisuje 18,6% ukupne varijanse unutar skupa. Sa slike se može videti da je kohezija unutar grupe uzoraka sa flotacijskog jalovišta slabija od kohezije grupe

prirodnih kontrolnih uzoraka. Heterogenost zemljišta flotacijskog jalovišta na koju ukazuju rezultati dobijeni pomoću PCA posledica su činjenice da ispitivani uzorci potiču sa dva različita dela jalovine, rekultivisanog i nerektivisanog. Ali uprkos vidljive heterogenosti grupe uzoraka sa flotacijskog jalovišta, jasno se može videti separabilnost grupe uzoraka sa flotacijskog jalovišta i grupe kontrolnih uzoraka.



Grafikon 3. Raspodela (Scores plot) površinskih uzoraka zemljišta flotacijskog jalovišta (F) Rudnika bakra Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta (FK)

Na grafikonu 4. se može videti da su parametri koji karakterišu grupu uzoraka sa flotacijskog jalovišta: skelet, krupni i sitni pesak, vodoneotporni mikroagregati <0,25 mm, kao i dve frakcije najsitnijih vodootpornih agregata (0,25-0,5 i 1-0,5 mm). Parametri koji karakterišu grupu kontrolnih prirodnih uzoraka su: glina, MWD, humus i najkrupniji vodootporni strukturni agregati >3mm.



Grafikon 4. Raspodela (Loadings plot) odabranih fizičkih i hemijskih parametara

4.2.6. Poređenje zemljišta rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta

Deskriptivni statistički podaci o fizičkim i hemijskim karakteristikama površinskih uzoraka zemljišta sa rekultivisanog flotacijskog jalovišta su prikazani u tabelama 32. i 33. Originalni rezultati o sastavu humusa nalaze se u tabeli 41, u Prilogu.

Zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta su skeletna (šljunkovita), prema mehaničkom sastavu uglavnom peskovito glinovite ilovače, a manjim delom praškaste ili glinovite ilovače. Za strukturu zemljišta je karakteristično uglavnom nisko učešće vodootpornih strukturnih makroagregata (>0,25 mm), i u skladu s tim visoko učešće mikroagregata (<0,25 mm). MWD vrednosti takođe ukazuju na uglavnom nestabilnu (10 uzoraka zemljišta), srednje stabilnu (8) ili stabilnu (3) strukturu zemljišta. SI

vrednosti bazirane na sadržaju humusa, praha i gline, ukazuju na strukturno degradirana zemljišta (18 uzoraka).

Tabela 32. Fizičke karakteristike zemljišta (0-25 cm) na rekultivisanom delu flotacijskog jalovišta Rudnika bakra – Bor

Karakteristika zemljišta	Flotacijsko jalovište ($n=21$)				
	<i>Prosek</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>	<i>Std.dev.</i>	
Šljunak (%)	13,96	0,04	36,23	9,26	
Krupni pesak (%)	23,36	13,37	44,43	7,74	
Sitni pesak (%)	36,49	26,73	51,78	7,05	
Prah (%)	18,19	7,28	26,76	5,43	
Glina (%)	21,53	5,36	31,04	6,64	
Vodootporni strukturni agregati u mm (%)	>3	6,24	0,47	17,65	4,26
	3-2	5,73	0,25	17,28	4,11
	2-1	16,16	7,04	31,16	7,73
	1-0.5	18,98	1,83	38,73	7,12
	0.5-0.25	5,71	1,68	10,51	2,71
	<0.25	47,32	24,16	72,59	14,53
	>0.25	52,68	27,41	75,84	14,53
MWD	0,95	0,44	1,72	0,37	
SI	4,34	1,88	12,97	2,70	

Rekultivisana zemljišta flotacijskog jalovišta su uglavnom kisele reakcije, od slabo do ekstremno, dominira veoma jako kisela reakcija. Vrednosti razmenjive i hidrolitičke kiselosti su veoma heterogene i u proseku dosta visoke. Vrednosti kapaciteta katjonske izmene su takođe veoma heterogene, u proseku iznad 26 m.ekv., ali sa visokom standardnom devijacijom.

Predežno je, sadržaj humusa u uzorcima rekultivisanog zemljišta flotacijskog jalovišta nizak. Za sastav humusa je karakterističan uglavnom nizak stepen humifikacije organske materije (sadržaj huminskih kiselina <20% u 18 uzoraka). Vrednosti odnosa huminskih i fulvo kiselina (Ch:Cf) ukazuje na uglavnom humatno-fulvatni (Ch:Cf=0,5-

1 u 13 uzoraka), manje fulvatni (Ch:Cf<0,5 u 5 uzoraka), i najmanje fulvatno-humatni (Ch:Cf=1-2 u 3 uzoraka) tip humusa.

Tabela 33. Sastav humusa hemijske karakteristike površinskih uzoraka zemljišta (0-25 cm) rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor i prirodnog kontrolnog zemljišta

Karakteristika zemljišta	Flotacijsko jalovište (n=21)				Prirodno zemljište (n=5)			
	prosek	min.	maks.	std.dev.	prosek	min.	maks.	std.dev.
pH u H ₂ O	5,53	3,84	7,60	1,09	5,74	4,96	6,75	0,83
pH u KCl	4,43	3,18	6,50	1,10	4,87	4,06	5,89	0,87
Razmenljiva kiselost (m.ekv.)	4,42	1,14	6,19	1,55	5,01	3,95	6,02	0,76
Hidrolitička kiselost (m.ekv.)	12,31	1,90	30,87	7,86	18,13	7,15	31,52	9,99
CEC (m.ekv.)	26,05	10,75	40,00	7,23	43,90	34,00	56,50	9,51
C (%)	0,90	0,38	1,45	0,32	3,41	2,18	4,11	0,75
Humus (%)	1,55	0,65	2,50	0,55	5,88	3,76	7,08	1,28
Ch* (%)	16,39	12,00	21,28	2,85	19,42	14,16	22,74	3,17
Cf (%)	26,79	11,58	34,74	6,13	18,69	13,58	23,91	4,69
Humina (%)	56,80	48,42	72,10	5,77	61,89	53,35	72,26	7,36
Ch:Cf	0,67	0,36	1,82	0,32	1,06	0,86	1,31	0,17

*Ch - huminske kiseline; Cf - fulvo kiseline; Ch:Cf - odnos huminskih i fulvo kiselina

Sadržaj humusa u površinskim uzorcima rekultivisanog flotacijskog jalovišta je značajno veći (tabela 34) što je manji sadržaj peska u njima, veći sadržaj praha, odnosno fizičke gline i veće vrednosti pH u vodi i KCl, a manja hidrolitička kiselost zemljišta. U uzorcima sa više humusa značajno je veći sadržaj najkrupnijih vodootpornih agregata, >3 mm, kao i vrednosti MWD parametra. Kada je sastav humusa u pitanju, sadržaj fulvo kiselina je značajno veći u uzorcima sa manje peska, a više gline i u uzorcima sa većom razmenljivom kiselosti. Sadržaj humina je značajno veći u uzorcima sa više peska, a manje gline. Sa povećanjem sadržaja gline, Ch:Cf odnos se značajno sužava. Sa povećanjem vrednosti Ch:Cf odnosa povećavaju se i vrednosti indeksa strukturnosti, SI.

Tabela 34. Koeficijenti korelacione zavisnosti sadržaja i sastava humusa i nekih fizičkih i hemijskih karakteristika zemljišta rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta Rudnika bakra Bor

Parametar	Humus	Ch	Cf	Humini	Ch:Cf	
Šljunak	0,40	0,08	0,06	-0,10	-0,11	
Pesak	ukupan	-0,58**	-0,04	-0,60**	0,66**	0,54
	krupni	-0,28	-0,10	-0,53	0,62**	0,51
	sitni	-0,58**	0,04	-0,34	0,34	0,27
Fizička glina	0,58**	0,04	0,60**	-0,66**	-0,54	
Prah	0,56**	0,18	0,41	-0,53	-0,33	
Glina	0,53	-0,10	0,67**	-0,67**	-0,61**	
Vodootporni strukturni agregati (mm)	>3	0,69**	0,06	0,35	-0,41	-0,27
	3-2	0,24	-0,50	0,30	-0,07	-0,37
	2-1	0,35	-0,26	0,44	-0,34	-0,41
	1-0,5	0,13	0,39	-0,42	0,25	0,57**
	0,5-0,25	-0,15	0,19	-0,16	0,08	0,22
	<0,25	-0,49	0,03	-0,19	0,19	0,08
	>0,25	0,49	-0,03	0,19	-0,19	-0,08
MWD	0,60**	-0,11	0,37	-0,34	-0,31	
SI	0,40	0,36	-0,35	0,19	0,59**	
pH voda	0,70**	0,38	-0,06	-0,13	0,21	
pH KCl	0,71**	0,46	-0,20	-0,01	0,37	
Razmenljiva kiselost	-0,23	-0,36	0,59**	-0,45	-0,54	
Hidrolitička kiselost	-0,61**	-0,41	0,10	0,10	-0,30	
CEC	-0,07	-0,32	0,32	-0,18	-0,50	
Humus	-	0,42	0,12	-0,35	0,08	

** - $p < 0,01$

Značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između površinskih uzoraka zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta i kontrolnih prirodnih zemljišta je prikazana u tabeli 35. Rezultati t-testa su pokazali da, u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima, zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta sadrže značajno manje humusa, više fulvo kiselina i uži Ch:Cf odnos. Sadržaj huminskih i fulvo kiselina je uži, ali ne značajno. Kada su ostale karakteristike zemljišta u pitanju, mehanički sastav se vrlo malo razlikuje, dok se struktura značajno razlikuje. U zemljištu

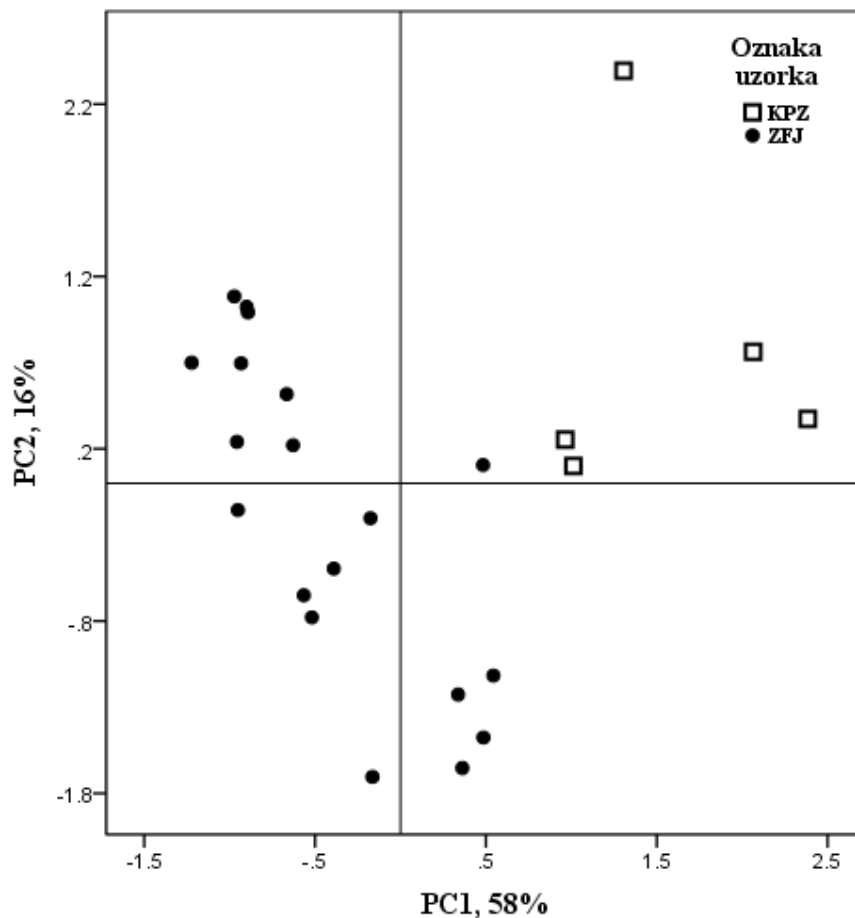
flotacijskog jalovišta je niži sadržaj vodootpornih agregata >3 mm i MWD vrednosti. pH je niži, ali ne značajno.

Tabela 35. Veličina i značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između površinskih (0-25 cm) uzoraka zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta ($n=21$) i prirodnih kontrolnih zemljišta

Patametar	t	p	
Krupni pesak	-0,7750	0,481585	
Sitni pesak	4,1595	0,014151	
Prah	-4,0652	0,015283	
Glina	-1,4678	0,216067	
Vodootporni strukturni agregati (mm)	>3	-5,2533**	0,006283**
	3-2	-2,6309	0,058133
	2-1	-0,4051	0,706140
	1-0.5	1,5586	0,194104
	0.5-0.25	4,1247	0,014556
	<0.25	2,6292	0,058235
	>0.25	-2,6292	0,058235
	MWD	-5,6220**	0,004922**
SI	-3,0354	0,038578	
pH voda	-1,16595	0,308417	
pH KCl	-1,16743	0,307881	
Razmenljiva kiselost	0,59891	0,581503	
Hidrolitička kiselost	-1,69043	0,166209	
CEC	-5,58828**	0,005030**	
Humus	-5,53378**	0,005212**	
Ch	-1,47688	0,213760	
Cf	5,709007**	0,004655**	
Humini	-3,15512	0,034345	
Ch:Cf	-4,69365**	0,009352**	

** - $p < 0,01$

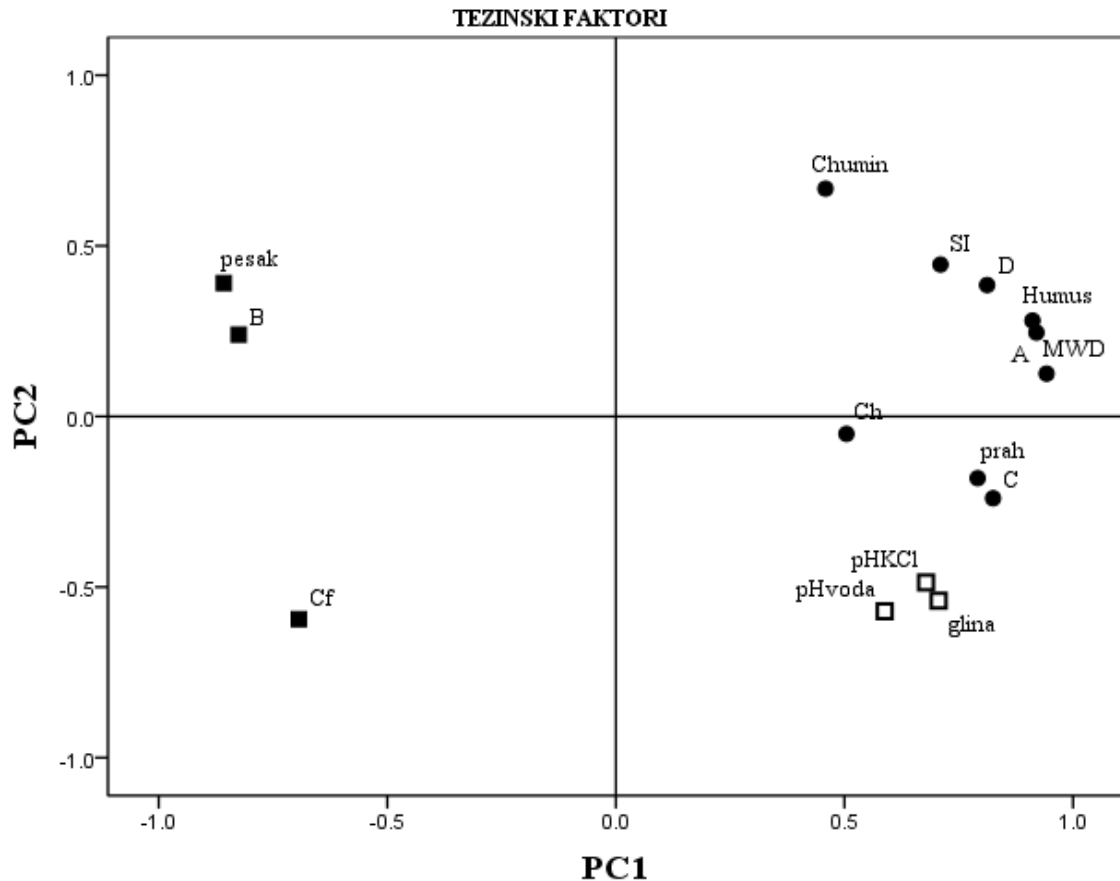
Na grafikonima 5 i 6 prikazani su rezultati analize glavnih komponenti za skup sačinjen od 19 uzoraka iz grupe zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta i 5 uzoraka iz grupe kontrolnih prirodnih zemljišta (dva uzorka iz grupe zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta su odbačena zbog njihovog velikog odstupanja od osobina skupa). Prve dve komponente opisuju 74% ukupne varijanse u skupu. Prva komponenta, PC1 opisuje 58%, dok druga, PC2 opisuje 16% ukupne varijanse unutar početnog skupa.



Grafikon 5. Raspodela (Scores plot) površinskih uzoraka rekultivisanog flotacijskog jalovišta (ZFJ) Rudnika bakra Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta (KPZ)

Sa grafikona 5. se može videti da se dve grupe uzoraka mogu razdvojiti (duž PC1-ose) u smislu postojanja linearne separabilnosti i klasifikacije. Sa iste slike se vidi da je kohezija unutar grupe zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta neznatno

narušena u procesu redukcije dimenzija, zbog uticaja različitih parametara na strukturu grupe zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta.

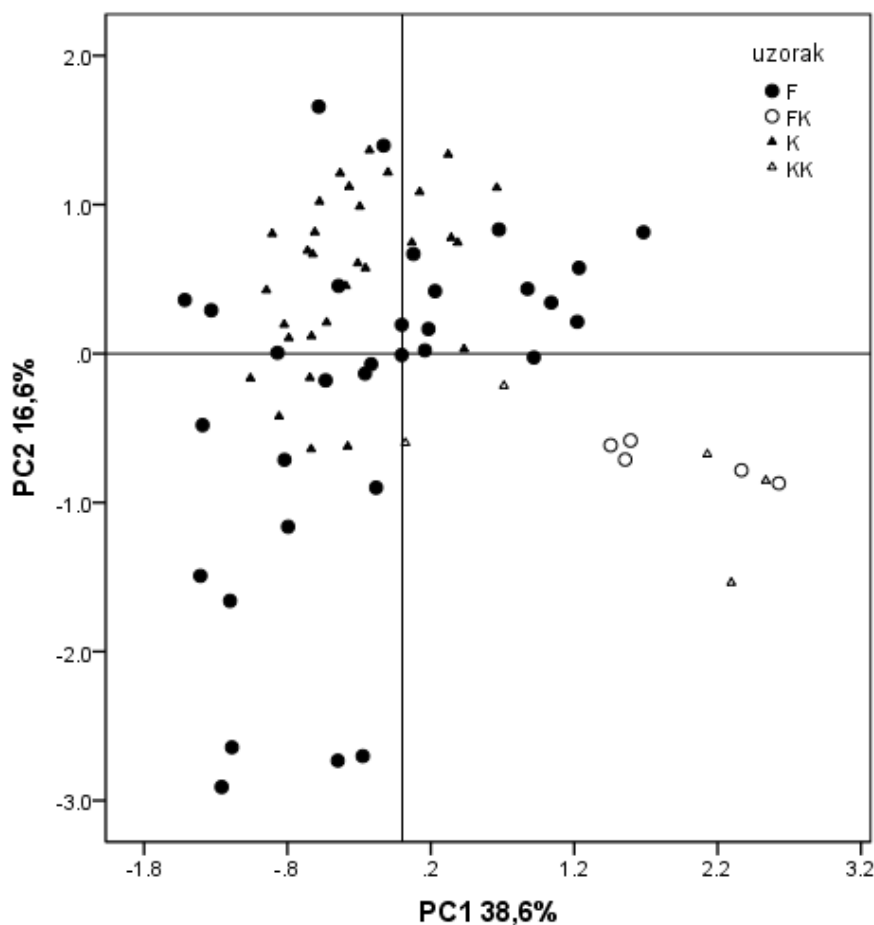


Grafikon 6. Raspodela (Loadings plot) odabranih fizičkih i hemijskih parametara [vodootporni strukturni agregati (mm): A >3; B <0,25; C >0,25; Ch - huminske kiseline; Cf - fulvo kiseline; D odnos huminskih i fulvo kiselina (Ch:Cf); MWD - prosečni prečnik vodootpornih agregata; SI - indeks stabilnosti strukture]

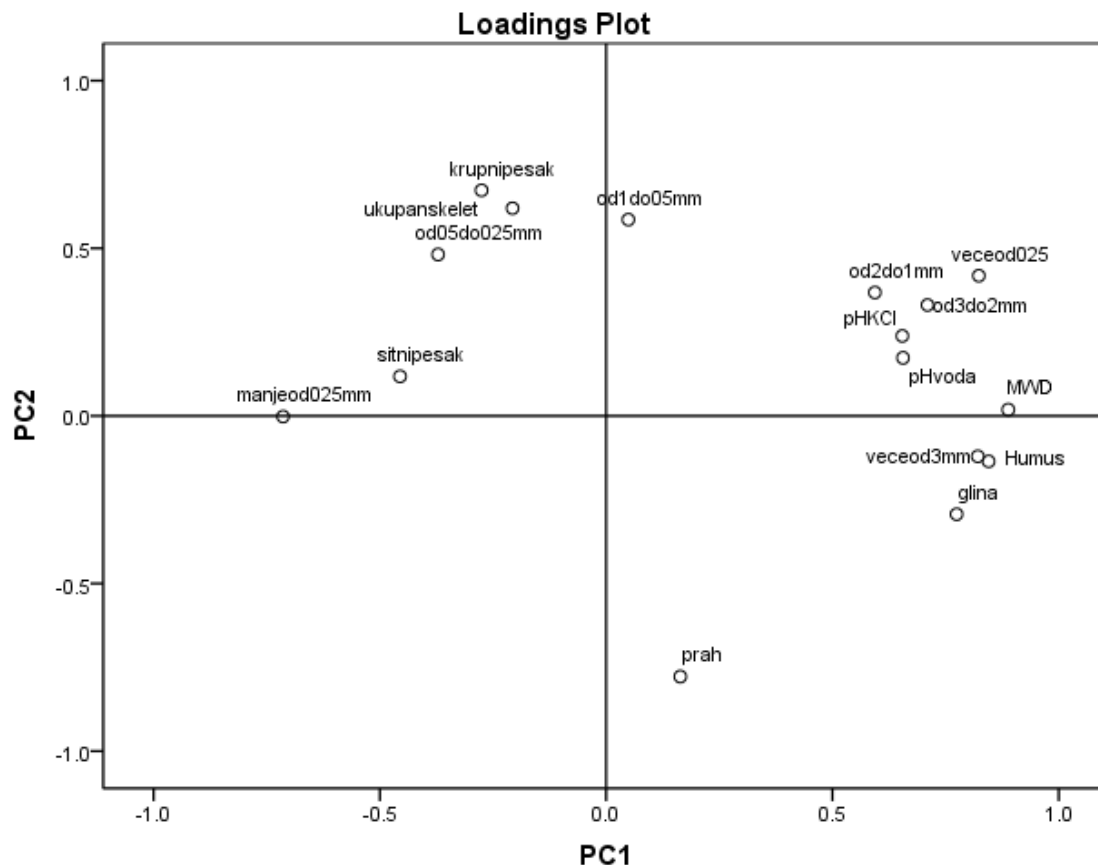
Pesak, mikroagregati <0,25 i fulvo kiseline (grafikon 6) su parametri sa najvećom varijansom u grupi uzoraka zemljišta rekultivisanog flotacijskog jalovišta, dok se ostali parametri (naročito sadržaj humusa, odnos humina i fulvo kiselina) mogu smatrati relativno stabilnim. Ovo se ne odnosi na pH u KCl, pH u vodi i glinu, jer za pojedine uzorke iz ove grupe ovi parametri imaju značajniju varijansu nego u ostatku grupe (čime direktno utiču na grupnu koheziju).

4.3. Poređenje zemljišta na jalovištima i kontrolnih prirodnih zemljišta

Rezultati PCA su prikazani na grafikonima 7 i 8. Da bi se stekao bolji uvid u karakteristike ispitivanih zemljišta na jalovištima bakra, izvršeno je njihovo poređenje sa prirodnim zemljištima primenom PCA na skup podataka formiranih od 30 površinskih uzoraka kopovskog, 32 uzorka flotacijskog jalovišta i ukupno 10 površinskih uzoraka kontrolnih prirodnih zemljišta. Prema rezultatima PCA, prve tri komponente opisuju 68% od ukupne varijanse podataka, gde PC1 opisuje 38,7% i PC2 15,8% ukupne varijanse. Grupa kontrolnih uzoraka se jasno razlikuje od uzoraka sa oba jalovišta.



Grafikon 7. Raspodela (Scores plot) površinskih uzoraka zemljišta kopovskog (K) i flotacijskog (F) jalovišta Rudika bakra Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta (KK i FK)



Grafikon 8. Raspodela (Loadings plot) odabranih fizičkih i hemijskih parametara

Parametri koji karakterišu grupu kontrolnih uzoraka su MVD, humus, vodootporni strukturni agregati >3 mm, i glina. S druge strane, zemljišne uzorke sa jalovišta karakteriše varijansa parametara vodootpornih strukturnih agregata <0,25 mm, krupnog peska, sitnog peska i skeleta.

4.4. Poređenje zemljišta kopovskog i flotacijskog jalovišta

Značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između površinskih uzoraka zemljišta kopovskog i flotacijskog jalovišta je prikazana u tabeli 36. Rezultati PCA su prikazani na grafikonima 9 i 10.

Rezultati t-testa govore da površinski uzorci zemljišta kopovskog jalovišta u poređenju sa flotacijskim sadrže značajno više skeleta, ukupnog i krupnog peska, kao i najkrupnije frakcije vodootpornih agregata >3 mm, i imaju veće vrednosti MWD

parametra. Istovremeno, zemljišta kopovskog jalovišta u poređenju sa flotacijskim imaju značajno manje sitnog peska, praha i gline, i značajno manje humusa, kao i niže vrednosti pH u vodi, a veću vrednosti hidrolitičke kiselosti zemljišta.

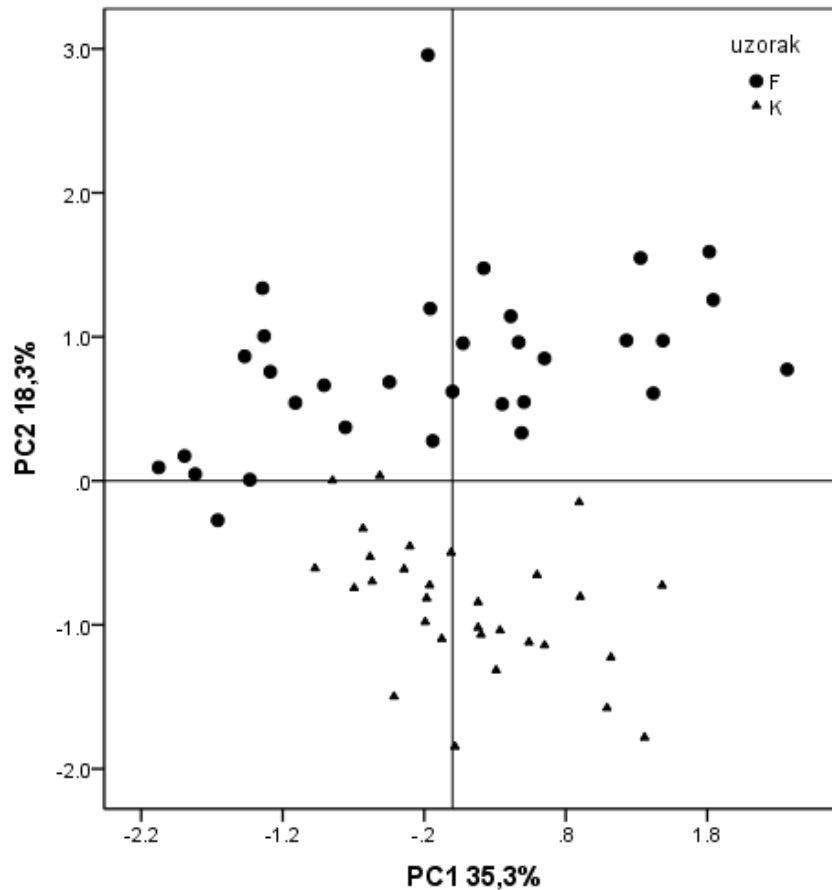
Tabela 36. Veličina i značajnost razlika u fizičkim i hemijskim karakteristikama između površinskih uzoraka (0-25 cm) zemljišta kopovskog i flotacijskog jalovišta

Parametar	t	p	
Ukupan pesak	5.22816**	0.000013*	
Krupni pesak	11.0399**	0.000000**	
Sitni pesak	-3.58861**	0.001207**	
Prah	-2.05295*	0.049197*	
Glina	-5.1295**	0.000018**	
Vodootporni strukturni agregati (mm)	>3	3.06856**	0.004631**
	3-2	1.6807	0.103570
	2-1	-0.52356	0.604565
	1-0.5	-0.94478	0.352576
	0.5-0.25	-5.59842	0.554208
	<0.25	1.2774	0.211585
	>0.25	0.5667	0.575295
	MWD	2.291733*	0.029371*
SI	-1,29739	0,205085	
Humus	-2.9139**	0.006809**	
pH u void	-2.18407*	0.037190*	
pH u KCl	-0.35344	0.726316	
Razmenljiva kiselost	-1,13519	0,265593	
Hidrolitička kiselost	3,473431**	0,001635**	
CEC	1,33648	0,191786	

*- $p < 0,05$; **- $p < 0,01$

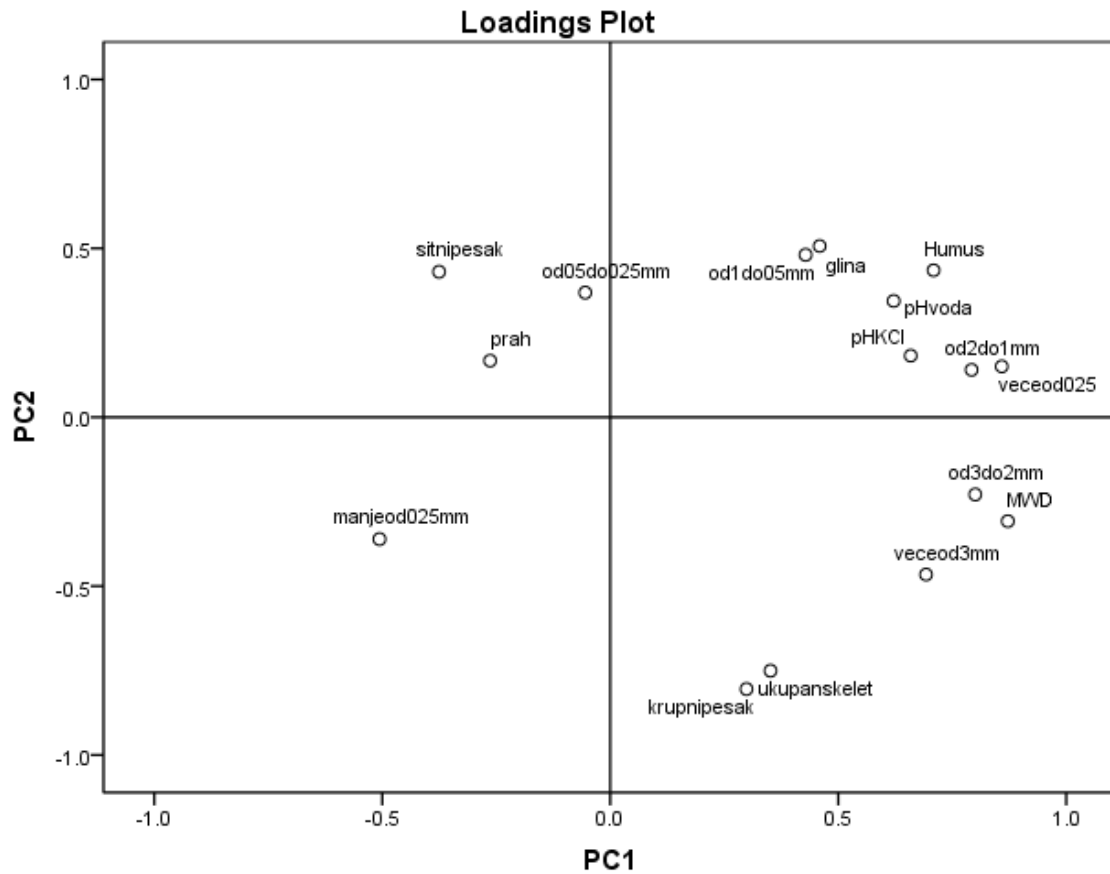
Grafikon 9. prikazuje PCA raspodelu izabраних fizičkih i hemijskih parametara 30 površinskih uzoraka sa kopovskog i 32 sa flotacijskog jalovišta. Prve dve komponente opisuju 67 % od ukupne varijanse u inicijalnom skupu na takav način da prva glavna komponenta (PC1) opisuje 34,5 % i druga (PC2) 17,6 % od ukupne varijanse. Rezultati pokazuju da su dve grupe uzoraka razdvojene duž ose PC2, u smislu

postojanja linearne separabilnosti i klasifikacije. Može se zaključiti da postoji dobra kohezija unutar grupe uzoraka sa kopovskog jalovišta, koja je neznatno narušena za grupu uzoraka sa flotacijskog jalovišta.



Grafikon 9. Raspodela (Scores plot) površinskih uzoraka zemljišta kopovskog (K) i flotacijskog (F) jalovišta Rudnika bakra Bor

Zaključak iz grafikona 10. je da krupni pesak, ukupan skelet i vodootporni agregati >3 mm, koji su karakteristika grupe uzoraka sa kopovskog jalovišta, i sitni pesak i vodootporni agregati 1-0,5 mm koji su karakteristični za grupu uzoraka sa flotacijskog jalovišta su u negativnoj korelaciji i odgovorni su za razdvajanje grupa duž PC2 ose. Sledeći parametri mogu da uzrokuju smanjenje kohezije u grupi uzoraka sa flotacijskog jalovišta: vodootporni agregati $>0,25$ mm, MVD, a vodootporni agregati 2-1 mm (nalaze se u negativnoj korelaciji sa vodootpornim mikroagregatima $<0,25$ mm).



Grafikon 10. Raspodela (Loadings plot) odabranih fizičkih i hemijskih parametara

5. DISKUSIJA

Prema literaturnim navodima, za zemljišta formirana na rudarskim kopovima i odlagalištima je karakteristično da sadrže visok procenat skeleta, imaju nizak kapacitet katjonske izmene i sadržaj organske materije, lošu vododržljivost i da su tipično kisele reakcije (**Simon, 2005; Roberts et al., 1988**). Zatim, ona uobičajeno sadrže visoke koncentracije metala (koji potiču iz primarnih i sekundarnih minerala) i niži sadržaj mnogih hraniva (npr. azota, fosfora, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma) (**Anwer et al., 2001**). Ove površine formiraju uslove sredine esencijalno siromašnog kvaliteta ili "neprijateljske" uslove, koji tradicionalno rezultiraju niskom mikrobiološkom aktivnošću i biomasom (**Akala i Lal, 2001; Lindemann et al., 1984**). Kao rezultat navedenog, ovakva sredina može ispoljiti jak selektivni pritisak (u pravcu razvoja tolerancije ili otpornosti) za naseljavanje bilo koje biljne vrste (**Arnold et al., 2008**).

Zemljišta ispitivana u ovoj doktorskoj disertaciji predstavljaju vema slabo razvijena tehnogena zemljišta, obrazovana na dva tipa jalovišta bakra čiji je jedan deo rekultivisan. Generalno, dobijeni rezultati istraživanja govore da su ispitivane karakteristike ovih zemljišta u skladu sa napred navedenim navodima iz literature.

5.1. Morfološke karakteristike

Na kopovskom jalovištu se javljaju dva sloja do dubine od 100 cm. Ovakav raspored slojeva direktna je posledica procesa deponovanja jalovine sa rudarskih kopova (tzv. raskrivke) različitih karakteristika.

Preduzete mere rekultivacije su se odnosile na sadnju drveća u rupe u koje je dodavan kompost ili je bila sadnja u čistu jalovinu. Na površini zemljišta na kopovskom jalovištu nije primećen "spontani" razvoj humusnog horizonta. Primenjene mere rekultivacije nisu tome doprinele.

Prema WRB 2007 klasifikaciji (**IUSS Working Group WRB, 2007**) zemljište u prvom profilu kopovskog jalovišta može biti klasifikovano kao *Spolic Technosol (Phytotoxic, Skeletic)*, a zemljište profila 2 kao *Spolic Technosol (Phytotoxic, Endoskeletalic)*.

Rekultivacija jednog dela flotacijskog jalovišta odnosila se na rekonstrukciju površinskog sloja zemljišta, navoženjem prirodnog humusnog sloja sa pozajmišta i ozelenjavanjem površina sadnjom drveća i sejanjem trava. Kao rezultat primenjenih mera formirano je tehnogeno zemljište sa A horizontom na površini ispod kojeg se nalazi sloj flotacijske jalovine.

Kako veći deo jalovišta nije zahvaćen rekultivacijom, vetar je raznosio nevezane čestice jalovine na rekultivisani deo i tako je nastao troslojni profil. Znači: na površini je vetrom naneti sloj jalovine, ispod njega je horizont A formiran rekultivacijom, a ispod A horizonta je sloj jalovine. Ovakav troslojni profil posledica je rekultivacije koja nije izvedena na celokupnoj površini flotacijskog jalovišta, što je pogodovalo uticaju vetra.

Na delu flotacijskog jalovišta gde se na površini nalazi jalovina, nije došlo do prirodnog razvoja humusnog horizonta zbog veoma loših fizičkih i hemijskih karakteristika same jalovine.

Prema WRB 2007 klasifikaciji (**IUSS Working Group WRB, 2007**) zemljište u profilu 3 flotacijskog jalovišta može biti klasifikovano kao *Spolic Technosol (Phytotoxic, Areninovic)*, a zemljište profila 4 kao *Spolic Technosol (Phytotoxic)*.

5.2. Fizičke karakteristike

Rudarska zemljišta su obično fizički degradirana (**Shukla et al., 2004a**). Ona imaju visok procenat skeleta, slabu strukturu i nisku poroznost (**Shukla et al., 2004b**). U cilju procene fizičkih kvaliteta zemljišta, kao indikatori se naširoko koriste gustina, poroznost, veličina agregata i procenat vodo-stabilnih agregata (**Boix-Fayos et al., 2001; Reynolds et al., 2002; Shukla et al., 2004b; Velasquez et al., 2007; Shrestha i Lal, 2008**).

Procenat skeleta se uzima u obzir pri proučavanju rudarskih zemljišta, između ostalog zato što je to obično važan ograničavajući faktor za razvoj vegetacije na rudarskim zemljištima (**Vega et al., 2005**). U tom smislu zemljišta kopovskog jalovišta su veoma skeletna po celoj dubini što, kako je navedeno u literaturi, može negativno da utiče na fizičke karakteristike ovih zemljišta i uspevanje vegetacije. S druge strane, zemljišta flotacijskog jalovišta nisu skeletna, i to je značajna razlika u poređenju sa zemljištima kopovskog jalovišta. Razlike u skeletnosti ova dva jalovišta direktna su

posledica načina njihovog nastanka, odnosno različitih tehnoloških postupaka kojima je nastala jalovina na ovim odlagalištima.

Jasno je vidljivo da oba jalovišta imaju značajno manji sadržaj gline u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima. Međutim, rekultivisane površine flotacijskog jalovišta sadrže manje gline u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima, ali ta razlika se nije pokazala kao statistički značajna. Iz toga se može doneti zaključak da primenjene mere rekultivacije nisu uticale pozitivno na mehanički sastav zemljišta, za razliku od nanošenja površinskog sloja na flotacijskom jalovištu koje je imalo pozitivan uticaj na popravak mehaničkih karakteristika ovog jalovišta. **Asensio et al.** (2013b) su došli do zaključka da su i sadnja drveća i đubrenje organskim otpadom zasebno doprineli povećanju procentualnog učešća gline na rekultivisanim površinama jalovišta bakra, ali ne objašnjavaju razloge zbog kojih je do toga došlo.

Kada su prisutni u velikim količinama, tehnogeni materijali mogu uticati na funkcionisanje i evoluciju tehnosola, njihovog mogućeg uticaja na okolinu (vodnih basena) i kvalitet zemljišta kao medijuma za rast biljaka. Agregacija zemljišta se smatra kao glavni ishod u procesima obrazovanja zemljišta, rezultat organo-mineralnih interakcija i proizvodnje vodo-stabilnih agregata. Ona igra važnu ulogu u fizičkim, hemijskim i biološkim osobinama zemljišta i predstavlja relevantan pokazatelj načina na koji funkcioniše zemljište. Na primer, hidrodinamika, mineralna ishrana ili dostupnost zagađivača se mogu utvrditi proučavanjem strukture zemljišta (**Watteau et al.**, 2006; **Monserie et al.**, 2009).

Loše strukturne karakteristike ispitivanih tehnogenih zemljišta najlakše je sagledati na osnovu parametara kao što su prosečni prečnik vodootpornih agregata, MWD (**Le Bissonnais**, 1996), prema kojem 36% uzoraka na kopovskom i čak 69% njih na flotacijskom jalovštu imaju nestabilne ili veoma nestabilne strukturne agregate, tj. vodoneotporni su. Drugi važan pokazatelj loših strukturnih karakteristika ovih zemljišta je indeks strukturnosti, SI (**Pieri**, 1992), koji takođe ukazuje na strukturno degradirana zemljišta na čak više od 90% ispitivanih uzoraka oba jalovišta.

Rezultati PCA ukazuju na veliku heterogenost agregatnih karakteristika unutar obe grupe kontrolnih uzoraka prirodnih zemljišta. Međutim, bez obzira na to, oni se veoma jasno odvajaju od obe grupe uzoraka sa jalovišta, kopovskog i flotacijskog, što potvrđuju i rezultati t-testa. U poređenju sa prirodnim zemljištima, oba zemljišta na

jalovištima imaju lošije strukturne karakteristike, a uzrok tomu su dominacija krupnih čestica kamena i peska u njima, nizak sadržaj gline i nizak sadržaj humusa.

Rezultati PCA i t-testa, ukazuju na nešto bolje karakteristike strukturnih agregata u zemljištima kopovskog u poređenju sa zemljištem flotacijskog jalovišta, verovatno zato što je zemljište kopovskog jalovišta prošlo kroz manje izmene u toku rudarskih aktivnosti. Naime, zemljišta kopovskog jalovišta su samo iskopavana, premeštana i deponovana na drugom mestu, dok su zemljišta flotacijskog jalovišta nastala kao nusproizvod procesa flotiranja rude bakra, koja podrazumeva primenu reagenasa.

Ispitivana zemljišta flotacijskog jalovišta su pokazala manju koherentnost, odnosno veće variranje kada su u pitanju karakteristike strukturnih agregata. Uzrok većoj varijabilnosti je verovatno činjenica da jedan deo ispitivanih uzoraka potiče sa rekultivisanog dela, a drugi, manji deo, sa nerekulitivanog dela flotacijskog jalovišta ili dela rekultivisanog jalovišta na koji je vetar naneo jalovinu sa nerekulitivanog dela. Strukturni agregati se pojavljuju samo u A horizontima na rekultivisanom delu jalovišta. Oni su tu dospeli rekonstrukcijom površinskog sloja u procesu rekultivacije i potiču iz prirodnog zemljišta sa pozajmišta. Površinski sloj zemljišta na nerekulitivanom delu jalovišta i navejanom delu je bezstrukturan.

Kada se statistički upoređuju karakteristike samo rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta i prirodnih kontrolnih zemljišta iz okoline nakadašnjeg pozajmišta, jasno je da rekultivisana zemljišta imaju lošije agregatne karakteristike (niži sadržaj vodootpornih agregata >3 mm i MWD vrednosti) u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima. Navedeni rezultati statističke analize dovode do zaključka da je na rekultivisanom delu flotacijskog jalovišta, nakon 20-30 godina posle izvedenih mera rekonstrukcije površinskog sloja, došlo do degradacije strukture zemljišta. Zemljišta kopovskog jalovišta pokazuju takođe lošije agregatne karakteristike u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima.

Dakle, primenjene mere rekultivacije ne samo što nisu doprinele podsticanje daljnjeg ostrukturivanja formiranih zemljišta na jalovištima, već nisu mogle da obezbede ni očuvanje postojećih strukturnih karakteristika, pa je vremenom došlo do degradacije strukture zemljišta. Razlog tome može se tražiti u niskom sadržaju humusa i njegovim lošim fizičkim i hemijskim karakteristikama. Naime, mnoge studije (**Hayes et**

al., 1991), ukazuju da je dugogodišnje pogoršanje strukture zemljišta povezano sa značajnim gubitkom organske materije, jer je organski C u zemljištu poznat kao ključan parametar koji utiče na sve aspekte kvaliteta fizičkih karakteristika zemljišta (**Asensio et al.**, 2013a). Prema **Reynolds et al.** (2008), fizičke karakteristike zemljišta su obično pod uticajem pH zemljišta ili koncentracije organskog ugljenika. Kako su i kontrolna prirodna zemljišta uglavnom kisela, na kvarenje strukture zemljišta ispitivanih rekultivisanih jalovišta verovatno je presudno uticalo smanjenje sadržaja humusa.

Struktura zemljišta na rekultivisanim rudarskim jalovištima zavisi od primenjenih mera, odnosno, tehnika rekultivacije. Rezultati **Asensio et al.**, (2013a) su pokazali da je đubrenje organskim otpadom zemljišta na jalovištima Cu povećalo prosečni prečnik vodootpornih agregata (MWD), procenat vodo-stabilnih agregata i indeks stabilnosti strukture (SI). Autori navode da je razlog poboljšanja strukture visoki sadržaj organskog ugljenika u otpadu koji se dodaje zemljištu.

Rekultivacija flotacijskog jalovišta nanošenjem površinskog sloja sa pozajmišta svakako je poboljšala strukturne karakteristike tog dela jalovišta u poređenju sa potpuno nestrukturnim nerekulivisanim delom. Sprovedeno je još i sađenje drveća na oba jalovišta i sejanje trava na flotacijskom jalovištu. Ozelenjavanje nisu pratile ostale mere nege (đubrenje, navodnjavanje, itd.), što je uticalo na loše uspevanje vegetacije i slabo poboljšanje ostalih fizičkih i hemijskih karakteristika zemljišta.

Slabo izražena struktura, odnosno, bezstrukturnost nerekulivisanog dela flotacijskog jalovišta omogućila je raznošenje suvog jednočestičnog materijala vetrom i njegovo deponovanje na jednom delu rekultivisanog jalovišta. Još ozbiljnija posledica je što vetar raznosi materijal i na grad i na poljoprivredne površine u okolini rudnika. Dominantni pravci duvanja vetra doprinose širenju jalovine po gradu Boru. Ovaj problem erozije vetrom je u literaturi veoma poznat (**Wong**, 2003; **Rojo i Cubillos**, 2009; **Courtney**, 2013).

Korelaciona analiza je pokazala da su strukturne karakteristike zemljišta povoljnije u manje kiselim zemljištima, sa više gline i humusa, što je karakteristika A horizonta koji je formiran rekultivacionim merama. Upravo zato se ispoljila i povezanost sa frakcijom šljunka koja je uneta u profil, dok su slojevi jalovine bez skeleta.

Zemljišta kopovskog jalovišta su porozna u površinskom sloju, a u potpovršinskom porozna ili slabo porozna. Poroznost se sa dubinom smanjuje, a time se smanjuje i propusnost za vodu. Kako je kopovsko jalovište veoma skeletno, propusnost zemljišta za vodu je u površinskom sloju veoma velika, a u potpovršinskom sloju umereno velika. Zemljišta flotacijskog jalovišta su takođe porozna i propusna za vodu kao i zemljišta kopovskog jalovišta. Nepravilna distribucija poroznosti sa dubinom posledica je tehnogenog porekla ovih zemljišta. Nepovoljne vodne osobine ovih jalovišta s jedne strane i sve veća opasnost od suše s druge (**Stricevic et al.**, 2012., 2011), ukazuju na navodnjavanje kao neophodnu melirativnu meru u postupku rekultivacije.

5.3. Hemijske karakteristike

Mnogi autori naglašavaju ulogu organske materije u razvoju formiranih tehnogenih zemljišta. **Dick et al.** (2006), kažu da se u postupku obnove pejzaža obično javlja mešavina pedogenetskih i geoloških materijala, a u formiranim zemljištima ne vlada prirodno stanje. Imajući u vidu da organska materija u zemljištu utiče na hemijska, ali i fizička i biološka svojstva zemljišta, znanje o njenom sastavu u formiranim zemljištima u rudarskim oblastima je od suštinskog značaja za procenu potencijalne upotrebe zemljišta. Osim toga, to bi moglo da doprinese uspostavljanju strategije za ublažavanje negativnog uticaja na životnu sredinu na obnovljenom prostoru. Zatim, jedno od najvažnijih pitanja u obnovi funkcionalnih ekosistema u post-rudarskim predelima je formiranje zemljišta, u kojem je od presudne važnosti akumulacija organskog C u površinskim slojevima jalovišnog materijala (**Jochimsen**, 1996; **Šourkova et al.**, 2005). Akumulacija organskog C ima za rezultat promenu fizičkih i hemijskih osobina zemljišta, kao što su vodni kapacitet, sadržaj hranljivih materija i njihova dostupnost biljkama, gustinu zemljišta itd. Između ostalog, organski C je izvor energije za zemljišne mikroorganizme, koji pokreće razgradnju i mineralizaciju biljnih ostataka oslobađajući hranjive materije (**Šourkova et al.**, 2005). Akumulacija organskog C u površinskom sloju jalovinskog materijala je od presudnog značaja za obrazovanje zemljišta i jedan od kriterijuma za procenu uticaja primenjenih metoda rekultivacije (**Bradshaw**, 1997). Povećanje sposobnosti skladištenja organskog

C vremenom ukazuje na poboljšanje kvaliteta zemljišta i potencijala za skladištenje organskog C. Međutim, dinamika akumulacije organskog C nije u potpunosti razjašnjena, a raspoloživi podaci su međusobno oprečni ili ispoljavaju velike razlike (Šourkova et al., 2005).

Uglavnom, ispitivana zemljišta karakteriše nizak sadržaj humusa, koji se smanjuje sa porastom dubine u svim profilima. U svim ispitivanim profilima nije uočen površinski sloj koji sadrži *in situ* formiran humus, verovatno zbog male starosti rekultivisanog zemljišta (20-30 godina), slabo razvijenog biljnog pokrivača i malo organskih ostataka, kao i zbog nepovoljnih ostalih uslova u zemljištu.

U prirodnim zemljištima, sadržaj humusa strogo se smanjuje sa dubinom, ali u zemljištima urbanih i tehnogenih područja potpovršinski horizonti mogu sadržavati značajanu količinu humusa zbog mešanja zemljišta tokom konstrukcije urbanog prostora (reljefa) i premeštanja organskih komponenti iz prirodnog zemljišta i antropogenog materijala u dublje slojeve zemljišta (Lorenz i Lal, 2009). Veći sadržaj humusa u potpovršinskom sloju profila 2 kopovskog jalovišta nije rezultat *in situ* akumulacije humusa, već verovatno potiče iz prirodnog zemljišta (otkrivke) koje je premešteno i zatrpano prilikom rudarskih iskopavanja i deponovanja. Humus u površinskom sloju profila kopovskog jalovišta verovatno potiče takođe iz prirodnog zemljišta (otkrivke) koje je premešteno i zatrpano prilikom rudarskih iskopavanja i deponovanja.

Humus u A horizontima profila otvorenih na rekultivisanom delu flotacijskog jalovišta je unešen u zemljište prilikom formiranja ovog tehnogenog zemljišta u procesu rekultivacije. Teško je definisati je li došlo do obrazovanja humusa *in situ* nakon sprovedenih mera rekultivacije ili sav humus potiče iz unetog zemljišta, jer ne postoje podaci o karakteristikama prirodnog zemljišta sa pozajmišta, a ne postoje ni podaci o formiranom zemljištu neposredno nakon izvršene rekultivacije. Problem porekla humusa (fosilni ili obrazovan *in situ*) u tehnogenim zemljištima ističu mnogi autori (Rumpel et al., 1998; Šourkova et al., 2005; Lehmann i Schad, 2007).

Prethodno navedeni problem ukazuje na neophodnost dugoročnog praćenja promena koje se dešavaju u rekultivisanim tehnogenim zemljištima. Kako to nije bio slučaj na ispitivanim površinama, način određivanja sadržaja i karakteristika humusa ovih tehnogenih zemljišta može biti upoređivanje sa prirodnim zemljištima. Rezultati

PCA i t-testa ukazuju na značajno manji sadržaj humusa u ispitivanim zemljištima kopovskog i flotacijskog jalovišta u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima. Zasebna analiza 21 uzorka zemljišta sa rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta i njihovo upoređivanje sa kontrolnim prirodnim zemljištima iz okoline nekadašnjeg pozajmišta ukazuju da je u rekultivisanom zemljištu došlo do značajnog smanjenja sadržaja humusa 20-tak godina nakon rekultivacije.

Poznato je da je smanjenje sadržaja humusa jedan od najvažnijih procesa koji se dešavaju u mehanički ili hemijski narušenim ekosistemima (**Akala i Lal**, 2001; **Viventsova et al.**, 2005). Rekultivacija rudarskih površina ublažava negativne posledice na životnu sredinu uzrokovane rudarskim aktivnostima, što između ostalog dovodi do povećanja sadržaja humusa u zemljištu. Povećanje sadržaja humusa je u funkciji vremena, klime, ranijih osobina zemljišta, vegetacije i mera upravljanja zemljištem pre i posle rekultivacije (**Akala i Lal**, 2001). Dodatak organske materije i humifikacija su ključni procesi u početnom periodu razvoja zemljišta i stoga, vegetacija ima ključnu ulogu kao inicijalni faktor u formiranju zemljišta (**Bini i Gaballo**, 2006). Vegetacija se razvija spontano ili se planski uvodi na deponijama različitih iskopa materijala, a biljke igraju veliku ulogu u formiranju i evoluciji zemljišta. Autori izdvajaju uticaj produktivnosti šuma i pašnjaka koji su obrazovani na rekultivisanim površinama i kvalitete zemljišta na jalovinama (**Akala i Lal**, 2001), kao i gustinu biljnog pokrivača **Dick et al.** (2006).

Na rekultivisanim delovima oba jalovišta koji su bili predmet proučavanja u ovom radu, vegetacija je prisutna samo sporadično. Proces rekultivacije su obuhvatili rekonstrukciju površinskog sloja prirodnim obradivim zemljištem, sadnju drveća i sejanje trava, ali su rezultati bili loši. Spontano naseljavanje vegetacije je takođe bilo veoma slabo. Razlog su nepovoljne opšte karakteristike zemljišta, kao i između ostalog zbog nanošenja jalovine vetrom sa nerektivisanog dela jalovišta.

Vidljivo je da mnogi autori ističu presudnu ulogu vegetacije u razvoju tehnogenih zemljišta, ali i probleme zbog kojih je otežano njeno uvođenje i razvoj na ovim degradiranim zemljištima. Tako **Šourkova et al.** (2005), kažu da različite neželjene osobine iskopanog materijala, kao što su erozija, toksičnost, neodgovarajući vodni režim ili deficit hraniva, mogu da smanje rast biljaka u nekim postrudarskim površinama. Formiranje zemljišta i akumulacija organskog C u postrudarskim predelima

zavisi od razvoja vegetacije i mineralizacije biljnih ostataka. Rast biljaka i mineralizacija su očigledno ograničeni zbog nedostataka N i P (**Piha et al.**, 1995).

Razlog naročito može biti povećan sadržaj teških metala, što se u literaturi najčešće navodi kao razlog lošeg uspevanja vegetacije i ostalih organizama (**Néel et al.**, 2003; **Viventsova et al.**, 2005). U ispitivanim zemljištima flotacijskog jalovišta povećana je koncentracija mikroelemenata Cu, As i Zn i u površinskom sloju.

Sadržaj humusa je veći u zemljištima flotacijskog jalovišta u poređenju sa kopovskim jalovištem, a razlog treba tražiti u unošenju humusnog sloja prilikom rekultivacije dela flotacijskog jalovišta. **Akala i Lal**, (2001), ističu da rekultivacija rudarskih jalovišta rekonstrukcijom površinskog sloja zemljišta dovodi do skladištenja više organskog C nego rekultivacija bez rekonstrukcije površinskog sloja.

Na poređenje zemljišta utiče i tip vegetacije, jer se različite biljne vrste razlikuju po količini, kvalitetu i dinamici produkcije organskih ostataka. U praksi ima iskustava gde je u rekultivisanim jalovištima došlo do obrazovanja prepoznatljivih horizonata u relativno kratkom periodu i do povećanja sadržaja humusa (**Haering et al.**, 1993; **Akala i Lal**, 2001), što je rezultat razlike kvaliteta jalovine i/ili bolje tehnologije primenjene rekultivacije. **Daniels i Amos** (1981), su ispitivali hronološku sekvencu rudarskih zemljišta u jugozapadnoj Virdžiniji i utvrdili da je A horizont do 13 cm debljine formirana za 5 godina.

Mnogi autori ističu kako je revegetacija uobičajena praksa u rekultivaciji rudarskih područja, iako u većini slučajeva to nije dovoljno s obzirom na teško stanje degradiranosti ovih zemljišta (ekstremni pH, nedostatak hranljivih materija, slaba aerisanost). Đubrenje sa organskim ostacima se pokazalo kao jeftin i efikasan metod za povećanje kvaliteta zemljišta (**Bendfeldt et al.**, 2001; **Brown et al.**, 2003; **Hemmat et al.**, 2010), kao i dobar način da se iskoristiti organski otpad. **Asensio et al.** (2013b), su utvrdili da je đubrenje organskim otpadom značajno povećalo koncentraciju organskog ugljenika u jalovištima bakra u poređenju sa kontrolnim nerekulivisanim površinama.

Što se tiče sastava humusa koji je ispitivan u rekultivisanim delovima flotacijskog jalovišta, rezultati su pokazali da ne samo da je sadržaj humusa značajno manji, već je došlo i do pogoršanja njegovog sastava u pravcu povećanja sadržaja fulvo kiselina i širenja Ch:Cf odnosa. Kako sadržaj humusa, tako je i sastav humusa u bilo kojoj sredini u vezi sa vegetacijom, klimom, sastavom i osobinama zemljišta (**Swift**,

2001). Ch:Cf odnos se može koristiti kao prikladan pokazatelj stepena degradacije organske materije **Certini et al.** (2001). U tom smislu širi Ch:Cf odnos u proučavanom 20-tak godina starom rekultivisanom zemljištu flotacijskog jalovišta u poređenju sa kontrolnim prirodnim zemljištima znači degradaciju humusa.

Značajno povećanje sadržaja fulvo kislina u našim ispitivanim jalovištima je verovatno posledica degradacije u veoma kiseloj sredini i njihovog slabijeg ispiranja usled klimatskih prilika koje karakteriše manje padavina, gde je prosečna godišnja suma oko 668 mm.

Kao što je već naglašeno kod razmatranja fizičkih karakteristika, organski C u zemljištu je poznat kao ključan parametar koji utiče na sve aspekte kvaliteta fizičkih karakteristika zemljišta. Mnoge studije ukazuju da je dugogodišnje pogoršanje strukture zemljišta povezano sa značajnim gubitkom organske materije, što su potvrdili i rezultati istraživanja oba jalovišta.

Ispitivana zemljišta na oba jalovišta rudnika bakra Bor su uglavnom kisele reakcije, što je direktna posledica njihovog tehnogenog porekla. Naime, materijali poreklom iz rudnika metala sadrže do nekoliko težinskih procenata sulfidnih minerala (**Bini i Gaballo**, 2006), koji nakon oksidacije i ispiranja, mogu uzrokovati jako kisele uslove koji su toksični za zemljište i biljke (**Néel et al.**, 2003), što značajno utiče na životnu sredinu u celom području. U skladu sa niskim pH vrednostima visoke su vrednosti hidrolitičke i razmenljive kiselosti izmerene u profilima i u površinskim uzorcima zemljišta oba jalovišta. Visoku razmenljivu i hidrolitičku kiselost su referisali i ostali autori na jalovištima bakra u Boru i Majdanpeku (Dožić i sar., 2010; Dražić i sar., 2008).

Kiselost proučavanih tehnogenih zemljišta je još jedan nepovoljan faktor koji sprečava razvoj vegetacije i akumulaciju organskih ostataka, i smanjuje brojnost i aktivnost mikroorganizama, što sve usporava razvoj ovih zemljišta. Zemljište rekultivisanog dela flotacijskog jalovišta je takođe uglavnom kisele reakcije, a sudeći po kontrolnim uzorcima prirodnog zemljišta iz okoline nekadašnjeg pozajmišta i zemljišni materijal unešen pri rekultivaciji je takođe bio uglavnom kisele reakcije.

Prema literaturi (**Šourkova et al.**, 2005), akumulacija organske materije u zemljištu, a samim tim i organskih kiselina, dovodi tokom vremena do smanjenja pH vrednosti zemljišta u nekim nerektivisanim i rekultivisanim tehnogenim zemljištima.

Međutim, u ispitivanim zemljištima kopovskog i flotacijskog jalovišta, pH vrednosti su statistički značajno veće što je veći sadržaj humusa. Niže pH vrednosti, odnosno veća kiselost, manje humusnih uzoraka iz površinskih i potpovršinskih slojeva jalovine na oba ispitivana lokaliteta mogu biti posledica većeg sadržaja sumpornih komponenti. Naime, smanjenje pH zemljišta je uobičajeno stanje na rudarskim jalovištima sa visokim sadržajem sumpornih jedinjenja, uglavnom pirita. U takvim slučajevima, pad pH je uzrokovan raspadanjem i oksidacijom sumpornih komponenti (**Rumpel et al., 1998**).

Kao što je već rečeno, primenjene mere rekultivacije na ispitivanim jalovištima Cu nisu doprinele značajnom smanjenju kiselosti zemljišta. Međutim, literaturni izvori govore da je primenom odgovarajućih postupaka rekultivacije to moguće. Tako **Asensio et al. (2013b)**, navode da samo sadnja drveća na jalovištima rudnika bakra nije uticala na pH pa je reakcija tih zemljišta ostala ekstremno kisela 21 godinu nakon sadnje drveća. Međutim, đubrenje organskim otpadom podiglo je pH od ekstremno kisele reakcije do 6-8, što smatraju posledicom visoke koncentracije neorganskog ugljenika u dodatom organskom otpadu. Primena krečnih materijala je opšte prihvaćena mera popravke hemijskih osobina kiselih zemljišta (Pivić et al., 2011).

Niske vrednosti CEC ističu se kao jedna od glavnih karakteristika zemljišta na rudarskim jalovinama (**Simon, 2005**). U ispitivanim zemljištima vrednosti CEC su posebno niske u slojevima flotacijske jalovine, dok su njegove vrednosti veće u A horizontima formiranim rekultivacijom. Korelaciona analiza je pokazala da je na flotacijskom jalovištu CEC značajno veći u uzorcima sa većim sadržajem gline i humusa, a to su upravo uzorci sa rekultivisanog dela jalovine. Dakle jedna od pozitivnih posledica primenjene mere rekultivacije koja se sastojala od rekonstrukcije površinskog sloja zemljišta imala je za posledicu povećanje sposobnosti zemljišta da adsorbuje katjone. Iskustva drugih autora govore da različite mere rekultivacije utiču na povećanje vrednosti CEC u rudarskim jalovištima bakra. Prema **Asensio et al. (2013b; 2013d)**, primena mešavine različitih vrsta organskog otpada značajno je povećala CEC i V u poređenju sa kontrolnim nerekulivisanim zemljištem.

Upoređivanjem sadržaja makroelemenata u zemljištima ispitivanog kopovskog i flotacijskog jalovišta sa prosečnim (**Essington, 2004**) najnižim i najvišim vrednostima izmerenim u površinskom sloju tzv. normalnih zemljišta (koja nisu kontaminirana ili

mineralizovana), može se reći da se on kod svih uklapa u navedeni opseg. Sadržaj nekih makroelemenata u ispitivanim zemljištima Rudnika bakra Bor je niži u poređenju sa nerektivisanim i rektivisanim zemljištima na jalovištima bakra u Španiji (**Asensio et al.**, 2013d).

Prema **Asensio et al.** (2013d), zemljišta na jalovini bakra sadrže stene koje su bogati gvožđe-sulfidima (piritom i halkopiritom) i jedinjenjima Mn što je razlog visokih koncentracija ukupnog sadržaja Fe i Mn u ovim zemljištima. Na zemljištima istog rudnika **Asensio et al.** (2013b), navode da je koncentracija oksida gvožđa (Fe_2O_3) bila veća u kontrolnim nerektivisanim zemljištima, dok je koncentracija oksida mangana (MnO) bila veća u zemljištima rektivisanim sadnjom drveća i unošenje organskog otpada.

Upoređivanjem sadržaja mikroelemenata sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama, MDK (**Službeni glasnik RS, 1994**), vidi se da su u oba jalovišta povećane koncentracije Cu i As, što je jedan od ograničavajućih faktora za bolje uspevanje vegetacije na rektivisanim površinama kao i "spontano" širenje vegetacije na nerektivisanim površinama. Jasno je da sprovedene mere rektivacije nisu uticale na smanjenje koncentracije pomenutih metaloida i teških metala.

Sadržaj Cu i Zn u površinskom sloju oba ispitivana jalovišta je niži u poređenju sa površinskim slojem zemljišta u rudniku bakra Touro, Španija (**Asensio et al.**, 2013b; 2013c; 2013d; **Novo et al.**, 2013). Koncentracija Cu u ispitivanim tehnogenim zemljištima je bila značajno viša u poređenju sa površinskim slojem urbanih zemljišta na području grada Szeged u Mađarskoj (**Puskás i Farsang**, 2009), kao i u poređenju sa poljoprivrednim zemljištima na području grada Beograda (**Marković et al.**, 2010), i Zagreba (**Romic i Romic**, 2003). Sadržaj Zn u površinskom sloju ispitivanih zemljišta je bio niži u poređenju sa gore pomenutim "urbanim" i poljoprivrednim zemljištima.

Asensio et al. (2013d), kažu da zemljišta rudnika bakra Touro, rektivisana dodavanjem raznih vrsta organskog otpada, sadrže povišene doze Cu, odnosno da su kontaminirane bakrom. Iz toga su zaključili da je visoka koncentracija teških metala redukovala mikrobiološku aktivnost. Takođe su zaključili da su sve primenjene vrste organskog otpada imale povišene koncentracije Zn što je uticalo na značajno povećanje njegove koncentracije u rektivisanim zemljištima. Slična je situacija bila i sa Ni i Pb. Zaključili su da je neophodno pre primene organskog otpada kao đubriva u procesu

rekultivacije rudarskih jalovina proveriti koncentraciju teških metala u njima. Takođe su preporučili kontinuirano praćenje njihovog učinka tokom vremena na većem broju površina kako bi se doneo validan zaključak o njihovoj upotrebljivosti u rekultivaciji degradiranih rudarskih zemljišta.

Problem kontaminacije rudarskih jalovina teškim metalima je veliki što je i izloženo u Pregledu literature. Među mnogobrojnim merama koje se ispituju je i uvođenje biljnih vrsta tolerantnih na teške metale. Pa tako **Ernst et al.** (2000), kažu da neke biljke mogu rasti u zemljištu zagađenom Cu, jer su neosetljive na prekomerne koncentracije Cu. Ove biljke su izgradile tolerantnost na teške metale. Evolucija populacija viših biljaka tolerantnih na metale u prirodi je klasičan primer lokalne adaptacije i mikroevolucije (**Antonovics et al.**, 1971). Specifični mehanizmi se mogu razviti u rezistentnim populacijama putem prirodne selekcije u odgovoru na kontaminaciju zemljišta teškim metalima (**Liu et al.**, 2004). **Baker** (1981) je utvrdio da su neke biljne vrste koje rastu u sredinama sa povišenim koncentracijama metala razvile dve osnovne strategije tolerancije na metale: (1) isključivanje, i (2) akumulacija i sekvestracija (vezivanje).

5.4. Mikrobiološke karakteristike

Mikrobiološka i enzimska svojstva zemljišta relativno brzo reaguju na male promene u zemljišnim uslovima (**Zhang et al.**, 2010). Shodno tome, aktivnosti enzima u zemljištu odražavaju promene u kvalitetu zemljišta pre nego što one mogu biti detektovane drugim analizama zemljišta (**Izquierdo et al.**, 2005; **Gómez-Sagasti et al.** 2012). Aktivnost enzima zemljišta je važan indeks plodnosti zemljišta, a često se koristi za praćenje remedijacije zagađenih lokacija (**Baker et al.**, 2011).

Generalno, mikrobiološka aktivnost zemljišta nalazi se pod uticajem mnogih fizičkih i hemijskih osobina zemljišta (**Meliani et al.**, 2012). Niska mikrobiološka aktivnost zemljišta oba ispitivana jalovišta rudnika bakra Bor rezultat je nepovoljnih fizičkih (dominacija frakcije skeleta i/ili peska) i pogotovu hemijskih karakteristika (ekstremno kisela i veoma kisela reakcija zemljišta sa niskim sadržajem humusa).

Nešto veća mikrobiološka aktivnost prisutna je u slojevima sa više gline. Rezultati drugih autora govore takođe o značajnom uticaju čestica gline na zemljišne

mikroorganizme (**Alexander, 1977; England et al., 1993**), što se objašnjava visokom reaktivnošću mikroorganizama sa površinom čestica gline (**Kang, 1999**).

Hafeez et al. (2012), su pronašli da se brojnost bakterija u tehnosolima smanjuje sa porastom dubine, kao što je uobičajeno u ostalim zemljištima. To nije bio slučaj sa profilom 3 na flotacijskom jalovištu, gde je broj ukupnih bakterija bio manji u površinskom C1 sloju jalovine nego u potpovršinskom A horizontu. To se može objasniti povoljnijim uslovima koji vladaju u A horizontu formiranom merama rekultivacije, odnosno nanošenjem humusnog zemljišta iz pozajmišta, u poređenju sa C1 slojem čiste jalovine koju je naneo vetar.

Odsustvo aktinomiceta je posledica ekstremno kisele reakcije ispitivanih zemljišta. Kao što je poznato, gljive su generalno dominantna populacija mikroorganizama u kiselim ekosistemima (**Tate, 2000**). U ispitivanim tehnogenim zemljištima i njihovo prisustvo je ograničeno zbog loših ostalih fizičkih i hemijskih karakteristika.

Rezultati prikazani u ovom radu pokazali su značajnu pozitivnu korelaciju između teškog metala Cu, i brojnosti ukupnih bakterija. Pozitivnu korelaciju između mikrobiološke aktivnosti i koncentracije teških metala dobili su i neki drugi autori, što se objašnjava tolerantnošću mikroflora prema kontaminirajućim dozama metala (**Campbell et al., 1995; Anongo et al., 2005**). S druge strane, **Asensio et al. (2013d)**, našli su u zemljištima rudnika bakra negativnu korelaciju između sadržaja Cu i biomase ugljenika, što su objasnili posledicom negativnog uticaja visokih koncentracija teških metala na mikrobiološku aktivnost.

Enzimi u zemljištu deluju kao katalizatori u nekim specifičnim reakcijama koje su pod kontrolom različitih faktora (**Marin et al., 2005**). Neki enzimi, posebno dehidrogenaze i fosfataze, takođe deluju kao indikatori zagađenja zemljišta teškim metalima (**Welp, 1999**). Rezultati dobijeni u ovim istraživanjima su pokazali da DHA nisu u korelaciji sa mikrobiološkom aktivnosti (negativna korelaciona zavisnost nije statistički značajna). Potpuno oprečne rezultate dobio je **Skujins (1976)**, koji kaže da je DHA, koja je korišćena radi determinacije katabolitičke aktivnosti u zemljištu, u korelaciji sa mikrobiološkom aktivnosti zemljišta. Međutim, s druge strane, korišćenje DHA radi procene mikrobiološke aktivnosti zemljišta je kritikovano, pre svega zbog niske efikasnosti akceptora elektrona u dehidrogenaza testu (**Benfield et al., 1977**).

Dobijena pozitivna korelacija PME sa sadržajem gline u ovim istraživanjima je u skladu sa literaturnim navodima (**Kandeler et al.**, 1999).

Literaturni izvori takođe ukazuju na neslaganja vezana za enzimatsku aktivnost degradiranih zemljišta. Tako **Kandeler et al.**, (1996), kažu da mnoge studije pokazuju fosfataze koje spadaju u enzime koji su veoma osetljivi na zagađenje metalima. Međutim, drugi autori su našli da su fosfataze neosetljive na degradaciju zemljišta (**Moreno-Jiménez et al.**, 2012).

Prema navodima **Asensio et al.** (2013c), dodavanje muljeva na jalovišta bakra doprinela su značajnom poboljšanju mikrobioloških karakteristika rekultivisanih zemljišta, dok je sadnja drveća bez dodavanja đubriva poboljšala delimično mikrobiološke karakteristike, ali daleko ispod kontrolnih zemljišta. Njihova je preporuka da prilikom rekultivacije ovakvih zemljišta, uz sadnju drveća treba periodično dodavati mulj ili da bi se poboljšala pristupačnost hraniva za drveće, treba sejati divlje leguminozne biljke koje će poboljšati ishranu azotom. Mere rekultivacije preduzete na ispitivanim površinama rudnika bakra Bor podrazumevale su revegetaciju, ali bez redovnog unošenja đubriva što nije pozitivno uticalo na poboljšanje mikrobioloških karakteristika ovih zemljišta.

Videli smo da je enzimatska aktivnost zemljišta važan indeks plodnosti zemljišta, ali se često koristi i za praćenje remedijacije zagađenih lokacija (**Baker et al.**, 2011). Pored karakterizacije različitih funkcija mikrobnih zajednica u zemljištu, ekotoksikološke studije omogućuju procenu brojnosti ukupnih mikrobnih zajednica zemljišta ili zasebno različitih mikrobnih populacija (tj. bakterija, gljiva, itd.). Pošto bakterije kao i gljive imaju jasne zahteve prema pH (**Rousk et al.**, 2009; **Aciego Pietri i Brookes**, 2009), svi tretmani koji bi promenili kiselost zemljišta menjali bi i odnos različitih mikrobnih populacija. Zato je prilikom odabira budućih metoda rekultivacije na ispitivanom području, između ostalog važno voditi računa i o njihovom mogućem uticaju na mikrobiološku aktivnost zemljišta.

5.5. Predlog mera zaštite i rekultivacije zemljišta u narednom period

Na osnovu rezultata istraživanja u okviru rekultivacije degradiranih površina potrebno je primeniti sledeće mere:

- 1. Tehničke mere** kojima se direktno utiče na povećanje erozione stabilnosti kosina, doprinose bržem postizanju i održavanju trajne stabilnosti jalovišta i stvaraju dobru osnovu za sprovođenje bioloških mera rekultivacije.
- 2. Biološke mere** koje podrazumevaju primenu poljoprivrednih i šumskih melioracija, koje doprinose stabilnosti i održavanju rekultivisanih površina, ali su mnogo značajnije sa aspekta popravke zemljišta, revitalizacije prostora i uspostavljanja prirodnih biocenoza. Značajnu ulogu u biološkim merama imaju hortikulture vrste: drveće, žbunje i travna vegetacija.

Uopšteno, pre formiranja bilo koje vrste jalovišta, prva faza tehničkih mera je stabilizacija podloge za buduće odlagalište i njeno planiranje, odvodnjavanje i postavljanje drenažnog sistema. Nakon ove faze, nasipa se jalovina i fazno formira odlagalište. Fazno formiranje odlagališta podrazumeva nasipanje sloja jalovine određene debljine i ravnomerno razastiranje (a ne u velikim gomilama), čime se stvaraju uslovi za ravnomernu mešavinu geoloških slojeva. Nakon konsolidacije ovog sloja jalovine, nasipaju se sledeći slojevi, dok se ne završi nasipanje odlagališta do projektovane kote. Po završenom nasipanju potrebno je površinu isplanirati.

Pošto je Visoki planir neplanski uradjeno jalovište, ovaj deo tehničke rekultivacije je izostao i nemoguće ga je nadoknaditi, dok Polje 2 ispunjava sve tehničke propise.

Sledeća mera se odnosi na kopovska jelovišta i ona obuhvata terasiranje tj. planiranje završnih horizontalnih i kosih površina u funkciji postizanja maksimalne stabilnosti terena. Ovo je mera koja se na Visokom planiru takodje nije planski sprovodila. Kose površine su veoma strme i nepristupačne za izvođenje rekultivacije, a između horizontalnih površina su veoma velike visinske razlike. Sve to znatno otežava izvođenje celokupne rekultivacije na ovom jalovištu.

Što se tiče biološke rekultivacije na ovim kosim površinama, zbog nepristupačnosti terena i nemogućnosti da se izvede pošumljavanje, prednost se daje samoniklim autohtonim vrstama i ovaj vid vremenski izuzetno dugo traje.

Na Visokom planiru, posle završenog planiranja i ravnanja horizontalnih površina, treba iskopati jame, adekvatnih dimenzija, za sadnju odabranih biljnih vrsta.

Na Polju 2 izravnati površinu (ako je potrebno) i navesti sloj zemljišta sa pozajmišta ili mešavinu zemljišta i jalovine, što bi znatno smanjilo troškove izvođenja rekultivacije i umanjilo problem iznalaženja pozajmišta sa dovoljnom količinom zemljišta za nasipavanje ovako velike površine koja se rekultiviše.

Za biološku rekultivaciju oba jalovišta od posebnog značaja je priprema terena pod kojom se podrazumeva niz agrotehničkih mera – kalcizacija, đubrenje, obrada. Primenjene agrotehničke mere imaju za cilj stvaranje inicijalnih uslova za prirast zasada i aktiviranje procesa formiranja zemljišnog pokrivača na jalovini.

Kalcizacija kao meliorativna mera ima za cilj da se smanji ili neutrališe postojeću kiselost supstrata, a to se postiže unošenjem sredstava koja sadrže kalcijum kao što su karbonatna sredstva (mleveni krečnjak, dolomit i lapor) i oksidna sredstva (pečeni kreč CaO, gašeni kreč $\text{Ca}(\text{OH})_2$) što doprinosi bržem stvaranju kultiviranog i strukturnog sloja zemljišta.

Kalcizacija se pokazala kao dobra mera za revitalizaciju kontaminiranih površina, zato što kreč pozitivno deluje na hemijske osobine zemljišta i imobilizaciju teških metala i drugih toksikanata. Pod uticajem krečnog materijala, nastaje smanjenje supstitucione i hidrolitičke kiselosti, potpuno eliminisanje pokretljivog Al i izvesno smanjenje pristupačnog Cu i Mn u zemljištu. Kalcizacija je značajna mera za smanjenje asimilacije prvenstveno bakra biljkama.

Za meru kalcizacije Borskih jalovišta veoma je značajno što se u ovaj proces može uključiti pogon za proizvodnju kreča „Zagradje“ koji se nalazi u blizini samog grada i koji poseduje dovoljne kapacitete za ovakve poslove.

Jalovišta su siromašna korisnim mikroorganizmima, pa je potrebno oživljavanje bioloških procesa unošenjem određenih đubriva, koja se mogu mešati sa semenom trava.

Kako ispitivani supstrat ne sadrži dovoljnu količinu organske materije, humizacija je neophodna mera. Prilikom kalcizacije koriste se različita sredstva za humizaciju zemljišta – stajnjak, treset, kompost, zelenišno đubrivo.

Treset je vrlo pogodno sredstvo za humizaciju, izvađen i prosušen može se odmah upotrebiti. Unošenjem treseta aktiviraju se mikrobiološki procesi, što je od velikog značaja za degradiranu podlogu.

Pored organskih, u ispitivana tehnogena zemljišta je potrebno uneti i odgovarajuća mineralna đubriva. Mineralna đubriva uglavnom sadrže hranjive elemente u rastvorljivom obliku, pa je njihovo dejstvo na biljke brže, ali ne traje duže od jedne vegetacione sezone.

Zbog izrazito nepovoljnih odlika ispitivanih tehnogenih zemljišta, izbor je ograničen na fiziološki neutralna i alkalna mineralna NPK đubriva.

Fertilizaciju treba obaviti u godini sadnje i to što pre, da bi se ubrzao visinski prirast i razvoj lisne mase.

Obrada zemljišta ima posebno mesto u održavanju zasada. Pre sadnje bi trebalo izvršiti pripremu i obradu mesta za sadnju. Nakon sadnje, u toku prve i druge godine, više puta treba okopavati oko biljaka uz obavezno zalivanje.

U jamama iskopanim na horizontalnim površinama Visokog planira, formiranim u sitnijem materijalu, kao i u Polju 2, na naveženom sloju zemljišta ili u mešavini zemlje i jalovine, treba izvršiti kalcizaciju. U iskopane jame treba dodati zemljište sa nekog pozajmišta, gašeni kreč, treset i mineralno đubrivo Sve se izmeša i posade se, po mogućstvu, kontejnerske sadnice. Pored sadnje drveća horizontalne površine se mogu i zatravniti.

Biološke mere rekultivacije podrazumevaju i pravilan izbor biljnih vrsta adaptivnih na stanišne uslove što će zajedno sa tehničkim merama, dovesti do trajne stabilnosti i ozelenjavanja jalovišta Visokog planira i Polja 2 u Boru.

U radu **Dožić et al.** (2010), „Novi pristup rekultivaciji starog flotacijskog jalovišta u Boru“ dat je opis oglada koji su sprovedeni 2008. god. na oglednim parcelama, pa se na osnovu dobrih rezultata mogu prihvatiti predložene biljke za izvodjenje biološke rekultivacije. Sadnice bagrema, jasena i javora su se pokazale kao biljke sa najboljim prijemom i prirastom, ali su mogućnosti izbora mnogo šire.

Korišćenje kontejnerskih sadnica je preporučljiva, jer može da se produži sezona pošumljavanja, odnosno sadnja u proleće može da počne kasnije, kada je vegetacija već krenula, a u jesen ranije čim se steknu uslovi za sadnju.

Zbog izuzetno nepovoljnih odlika supstrata, radi poboljšanja podloge potrebno je uvođenje leguminoza i povećanje procenta njihovog učešća u smeši sa travama, neke od njih su lucerka, crvena detelina i žuti zvezdan. Ove vrste leguminoza pripadaju najkvalitetnijim biljkama, kako u pogledu hranljivih materija, tako i u prinosu suve materije, a sve u cilju poboljšanja plodnosti zamljišta. Takođe imaju izuzetno visok sadržaj proteina i vitamina, što im daje visoke pozicije među krmnim biljkama, pa čak i u ljudskoj ishrani (**Mišić i Lakušić, 1990**). Naravno, na taj način se ne bi koristile sa degradiranog supstrata ove vrste.

Rekultivacijom Visokog planira i Polja 2, obzirom da su u pitanju stara i neaktivna jalovišta, višestruko bi se doprinelo očuvanju životne sredine.

6. ZAKLJUČCI

Na osnovu istraživanja na tehnogenim i prirodnim zemljištima iz okoline rudnika bakra u Boru ustanovljeno je da se ona odlikuju visokim sadržajem skeleta, degradiranom strukturom, velikom poroznosti i veoma brzoj propusnosti za vodu, niskim sadržajem humusa, niskim pH, velikom hidrolitičkom i razmenljivom kiselosti zemljišta i nižim kapacitetom katjonske izmene, visokom koncentracijom arsena (As) i bakra (Cu), kao i niskom mikrobiološkom aktivnoću.

Generalne karakteristike zemljišta flotacijskog jalovišta rudnika bakra Bor su lakši mehanički sastav, degradirana struktura, velika poroznost i propusnost za vodu, uglavnom nizak sadržaj humusa, dominacija fulvo kiselina nad huminskim kiselinama, nizak pH, velika hidrolitička i razmenljiva kiselost zemljišta i niži kapacitet katjonske izmene, visoke koncentracije arsena (As) i bakra (Cu) i niska mikrobiološka aktivnost.

Specifičnost ispitivanih tehnogenih zemljišta je nepravilna distribucija nekih karakteristika po dubini zemljišta (poroznosti, sadržaja humusa i mikrobiološke aktivnosti) što je posledica njihovog tehnogenog porekla.

U poređenju sa prirodnim kontrolnim zemljištima, zemljišta kopovskog i flotacijakog jalovišta karakteriše značajno niži sadržaj frakcije gline, lošije strukturne karakteristike, niže vrednosti kapaciteta katjonske izmene, niži sadržaj humusa i nepovoljniji sadržaj humusa (dominacija fulvo kiselina nad huminskim kiselinama).

Zemljišta flotacijskog jalovišta u poređenju sa kopovskim jalovištem imaju povoljniji mehanički sastav (manje skeleta i peska, a više praha i gline), lošije strukturne karakteristike, veći sadržaj humusa, više pH vrednosti i nižu hidrolitičku kiselost. Lošije strukturne karakteristike posledica su agresivnosti rudarskih tehnoloških procesa koje je prošla flotacijska jalovina u poređenju sa kopovskom jalovinom. Povoljnije teksturne i hemijske karakteristike flotacijske jalovine rezultat su intenzivnijih mera rekultivacije koje su sprovedene na flotacijskom jalovištu (nanošenje sloja humusnog zemljišta sa pozajmišta, sadnja drveća i sejanje trava) u poređenju sa kopovskim (samo sadnja drveća).

Na nerekulativisanim površinama nije došlo do odvijanja tzv. "spontane" pedogeneze. Na kopovskom i flotacijskom jalovištu nije primećeno obrazovanje raspoznatljivog površinskog sloja koji sadrži *in situ* obrazovan humus, verovatno zbog male starosti (20-30 godina), slabo razvijenog biljog pokrivača, malo organskih ostataka i nepovoljnih ostalih uslova u zemljišu. Osnovni problem je onemogućeno spontano širenje vegetacije na nerekulativisanim površinama zbog njihovih loših fizičkih i hemijskih karakteristika.

Sprovedene mere rekultivacije na kopovskom jalovištu (sadnja drveća koju nisu pratile adekvatne mere nege podignutih zasada u dužem vremenskom periodu), nisu dovele do značajnog poboljšanja fizičkih, hemijskih i mikrobioloških karakteristika zemljišta.

Sprovedene mere rekultivacije na flotacijskom jalovištu, koje su se sastojale u rekonstrukciji površinskog sloja navoženjem humusnog zemljišta, su značajnije uticale na poboljšanje fizičkih (povećan sadržaj gline, povoljnije strukturne karakteristike) i hemijskih karakteritika (veći sadržaj humusa i CEC), ali ne i mikrobioloških karakteristika na rekultivisanim površinama u poređenju sa nerekulativisanim delom jalovine.

Sadnja drveća i sejanje trava na flotacijskom jalovištu, koje nisu pratile adekvatne mere nege podignutih zasada u dužem vremenskom periodu, nije rezultiralo značajnijim razvojem vegetacije, što je imalo za posledicu smanjen priliv organskih ostataka u zemljište. To je dalje onemogućilo dalje poboljšanje karakteristika zemljišta.

Nakon 20-tak godina od sprovođenja rekultivacije na flotacijskom jalovištu (koja se sastojala od rekonstrukcije površinskog sloja zemljišta, odnosno nanošenja humusnog zemljišta sa pozajmišta, sadnje drveća i sejana trava), na rekultivisanim površinama je došlo do degradacije nanetog zemljišnog materijala u smislu kvarenja strukture zemljišta, smanjenja sadržaja humusa i pogoršanja njegovog sastava u pravcu povećanja sadržaja fulvo kiselina i širenja odnosa huminskih i fulvo kiselina (poređenje sa kontrolnim prirodnim zemljištima). Degradacija zemljišta na rekultivisanom flotacijskom jalovištu posledica je slabog razvoja vegetacije usled nedovoljne nege introdukovanih biljnih vrsta u dužem periodu. Drugi razlog degradacije je nanošenje jalovine vetrom sa nerekulativisanih delova flotacijskog jalovišta, jer rekultivacija nije obuhvatila celogupnu površinu jalovišta, već je izvedena samo parcijalno.

Na osnovu utvrđenih efekata do sada sprovedenih mera rekultivacije, predlažu se sledeće mere rekultivacije i zaštite zemljišta od degradacije u narednom periodu:

Tehničke mere rekultivacije treba da obuhvate:

- Na kopovskom jalovištu "Visoki planir", posle završenog planiranja i ravnjanja horizontalnih površina, treba iskopati jame adekvatnih dimenzija, za sadnju odabranih biljnih vrsta.
- Na celokupnoj površini flotacijskog jalovišta "Polje 2" treba izravnati površinu (ako je potrebno) i navesti sloj zemljišta sa pozajmišta ili mešavinu zemljišta i jalovine, što bi znatno smanjilo troškove izvođenja rekultivacije i umanjilo problem iznalaženja pozajmišta sa dovoljnom količinom zemljišta.

Biološke mere rekultivacije oba jalovišta treba da, pre setve ili sadnje adekvatnih biljnih vrsta, obuhvate pripremu zemljišta koja treba da se sastoji od niza meliorativnih i agrotehničkih mera u cilju stvaranja inicijalnih uslova za prirast zasada i aktiviranje procesa formiranja zemljišnog pokrivača na jalovini:

- Kalcizacija: smanjenje supstitucione i hidrolitičke kiselosti i smanjenje asimilacije prvenstveno bakra biljkama.
- Humizacija odnosno fertilizacija organskim đubrivima: stajnjak, treset, kompost, zelenišno đubrivo, pozotivno utiču na fizičke, hemijske i mikrobiološke karakteristike zemljišta.
- Primena mikrobioloških đubriva: pospešivanje oživljavanja bioloških procesa.
- Fertilizacija odgovarajućim mineralnim đubrivima (fiziološki neutralna i/ili ajkalna).
- Obrada zemljišta: priprema zemljišta pre setve ili sadnje, a zatim u toku prve i druge godine redovno okopavanje biljaka.
- Navodnjavanje: nakon setve ili sadnje u zavisnosti od klimatskih prilika u toku vegetacione sezone.
- Zbog poboljšanja karakteristika zemljišta preporučuje se uvođenje leguminoza (npr. lucerke, crvena deteline i žutog zvezdana) i povećanje procenta njihovog učešća u smeši sa travama.

- Pri sadnji drvenastih kultura preporučuje se korišćenje kontejnerskih sadnica koje produžavaju sezonu pošumljavanja, a od kultura bagrem, jasen i javor.

Rekultivacijom Visokog planira i Polja 2 višestruko bi se doprinelo očuvanju životne sredine kroz smanjenje emisija prašine i zagađenja vazduha, smanjenje zagađenja podzemnih i površinskih voda, i zagađenja zemljišta koje je osnovni prirodni resurs za proizvodnju hrane. Zemljište, voda i vazduh su ograničeni i nezamenljivi prirodni resursi o kojima neprekidno treba voditi računa.

7. LITERATURA

- Aciego Pietri, J.C., Brookes, P.C. (2009): Substrate inputs and pH as factors controlling microbial biomass, activity and community structure in an arable soil. *Soil Biology & Biochemistry* 41:1396–1405.
- Adriano, D.C., Wenzel, W.W., Vangronsveld, J., Bolan, N.S. (2004): Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma* 122: 121-142.
- Aguilar, R., Hormazábal, C., Gaete, H., Neaman, A. (2011): Spatial distribution of copper, organic matter and pH in agricultural soils affected by mining activities. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11: 125-145.
- Akala, V., Lal, R. (2001): Soil organic carbon pools and sequestration rates in reclaimed minesoils in Ohio. *Journal of Environmental Quality* 30: 2098-2104.
- Alexander, M. (1977): *Introduction to Soil Microbiology*. Malabar, FL, Krieger.
- Angers, D.A., Mehuys, G.R. (1993): Size distribution of water-stable aggregates. U: *Soil sampling and methods of analysis*. Urednik: M.R.Carter, Lewis Publishers, Boca Raton, SAD, pp. 653-655.
- Anongo, M. C., Bako, S. P., Ezealor, A. U. (2005): Trace metal content in relation to population of microorganisms in soils along some highways in Nigeria's Guinea savanna. *Journal of biological sciences* 5: 703-706.
- Antonovics, J., Bradshaw, A.D., Turner, R.G. (1971): Heavy metal tolerance in plants. *Advances in Ecological Research* 7: 1–8.
- Antonović, G. (1999): *Pedološki leksikon*. Biblioteka Acta Biologica Jugoslavica, Beograd.
- Anwer, M., Hussain, I., McNeilly, T., Putwain, P.D. (2001): Amelioration of NPK on metal polluted bare and vegetated sites of Trologan Mine. *Online Journal of Biological Sciences* 1: 280-283.
- Arnold, R.E., Hodson, M.E., Langdon, C.J. (2008): A Cu tolerant population of the earthworm *Dendrodrilus rubidus* (Savigny, 1862) at Coniston Copper Mines, Cumbria, UK. *Environmental Pollution* 152: 713-722.
- Asensio, V., Vega, F.A., Andrade, M.L., Covelo, E.F. (2013a): Tree vegetation and waste amendments to improve the physical condition of copper mine soils. *Chemosphere* 90: 603–610.

- Asensio, V., Vega, F.A., Singh, B.R., Covelo, E.F. (2013b): Effects of tree vegetation and waste amendments on the fractionation of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in polluted mine soils. *Science of the Total Environment* 443: 446–453.
- Asensio, V., Covelo, E., Kandeler, E. (2013c): Soil management of copper mine tailing soils - Sludge amendment and tree vegetation could improve biological soil quality. *Sciences of Total Environment* 456–457: 82-90.
- Asensio, V., Vega, F.A., Andrade, M.L., Covelo, E.F. (2013d): Technosols made of wastes to improve physico-chemical characteristics of a copper mine soil. *Pedosphere* 23: 1-9.
- Baker, LR, White, PM, Pierzynski, GM. (2011): Changes in microbial properties after manure, lime, and bentonite application to a heavy metal-contaminated mine waste. *Applied Soil Ecology*, 48:1-10.
- Bendfeldt, E.S., Burger, J.A., Daniels, W.L. (2001): Quality of amended mine soils after sixteen years. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1736–1744.
- Benfield, C.B., Howard, P.J.A., Howard, D.M. (1977): The estimation of dehydrogenase activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 9: 67–70.
- Berti, W. R., Cunningham, S. D. (1997): In-place inactivation of Pb in Pb-contaminated soils. *Environmental Sciences and Technology*. 31: 1359–1364.
- Bini, C., Gaballo, S. (2006): Pedogenetic trends in antrosols developed in sulfidic minespoils: A case study in the Temperino mine archeological area (Campiglia Marittima, Tuscany, Italy). *Quaternary International*, 156-157: 70-78.
- Bogdanović, G., Trumić, M., Antić, D.V. (2011): Upravljanje otpadom iz rudarstva – nastanak i mogućnost prerade. Zbornik radova "Reciklaža i održivi razvoj", 18-21 septembar, Sokobanja, pp. 37-43.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., Soriano-Soto, M.D. (2001): Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47–67.
- Bolan, N.S., Adriano, D.C., Duraisamy, P., Mani, A. (2003): Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils: III. Effect of biosolid and compost addition. *Plant and Soil*, 256: 231–241.
- Bradshaw, A.D. (1997): Restoration of mined lands-using natural processes. *Ecological Engineering* 8: 255-269.

- Brown, S.L., Henry, C.L., Chaney, R., Compton, H., DeVolder, P.S. (2003): Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metalcontaminated mining areas. *Plant and Soil* 249: 203–215.
- Buelt, J.L., Farnsworth, R.K. (1991): In situ vitrification of soils containing various metals. *Nuclear Technology* 96: 178-184.
- Businelli, M., Calandra, R., Pagliai, M., Businelli, D., Gigliotti, G., Grasselli, O., Said-Pullicino, D. and Leccese, A. (2007): Transformation of a landfill covering amended with municipal waste compost, Perugia, Italy. *Journal of Environmental Quality* 36: 254–261.
- Campbell, J.I.A., Jacobsen, C.S., Sørensen, J. (1995): Species variation and plasmid incidence among fluorescent *Pseudomonas* strains isolated from agricultural and industrial soils. *FEMS Microbiology Ecology* 18: 51-62.
- Casida, L. E., Klein, D. A., Santoro, T. (1964): Soil dehydrogenase activity. *Soil Science* 98: 319-328.
- Certini, G., Fernández Sanjurjo, M., Coti, G., Ugolini, F. (2001): The contrasting effect of broom and pine on pedogenic processes in volcanic soils (Mt. Etna, Italy). *Geoderma*, 102: 239-254
- Chen, B.D., Zhu, Y.G., Duan, J., Xiao, X.Y., Smith, S.E. (2007): Effects of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on growth and metal uptake by four plant species in copper mine tailings. *Environmental Pollution* 147: 374-380.
- Cicchella, D., De Vivo, B., Lima, A., Albanese, S., McGill, R. A. R. and Parrish, R. R. (2008): Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 8: 103–112.
- Courtney, R. (2013): Mine tailings composition in a historic site: implications for ecological restoration. *Environmental Geochemistry and Health* 35: 79-88.
- Cunningham, SD, Berti, WR, Huang, JW. (1995): Phytoremediation of contaminated soils. *Trends in Biotechnology* 13:393–397.
- Daniels, W.L., Amos, D.F. (1981): Mapping, characterization and genesis of minesoils on a reclamation research area in Wise County, V.A. *U: D.H. Graves (urednik) Symposium on surface mining, hydrology, sedimentation, and reclamation. OES Publ., College of Eng. Univ. of Kentucky, Lexington, pp. 261-265.*

- Delgado, R. D., Martín-García, J. M., Calero, J., Casares-Porcel, M., Tito-Rojo, J. and Delgado, G. (2007): The historic man-made soils of the Generalife garden (La Alhambra, Granada, Spain). *European Journal of Soil Science* 58: 215–228.
- Dercon, G., Davidson, D. A., Dalsgaard, K., Simpson, I. A., Spek, T., Thomas, J. (2005): Formation of sandy anthropogenic soils in NW Europe: Identification of inputs based on particle size distribution. *Catena*. 59: 341–356.
- Dick, D., Knicker, H., Ávila, L., Inda, Jr A., Giasson, E., Bissani, C. (2006): Organic matter in constructed soils from a coal mining area in southern Brazil. *Organic Geochemistry* 37: 1537-1545.
- Dilly, O., Blume, H.P. and Munch, J. C. (2003): Soil microbial activities in Luvisols and Anthrosols during 9 years of region-typical tillage and fertilisation practices in northern Germany. *Biogeochemistry*. 65: 319–339.
- Dožić, S., Đukić, M., Bogdanović, G., Stanojlović, R., Lukić, S., Đunisijević-Boj, D., Bjedov, I. (2010): Novi pristup rekultivaciji starog flotacijskog jalovišta u Boru. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 101: 3-48.
- Dražić, D., Veselinović, M., Golubović-Čurguz, V., Jovanović, Lj. (2008): Značaj biološke rekultivacije u uređenju posteksploatacionih predela. *Reciklaža i održivi razvoj* 1, pp. 96 – 102.
- Dražić, G. (2011): Ekoremedijacije. Fakultet za primenjenu ekologiju Futura, Beograd.
- EC C, 1986. Commission of the European Communities Council Directive 12 on the Protection of the Environment, and in particular soil, when sewage sludge is used in agriculture. *Official Journal of European Communities L* 18: 6-12 (86/278/EEC).
- Effland, W. R. and Pouyat, R. V. (1997): The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas. *Urban Ecosystems* 1: 217–228.
- England, L. S., H. Lee, and J. T. Trevors (1993). "Bacterial survival in soil: effect of clays and protozoa. *Soil Biology & Biochemistry* 25: 525-531.
- Enters, D., D'orfler, W. and Zolitschka, B. (2008): Historical soil erosion and land-use change during the last two millennia recorded in lake sediments of Frickenhauser See, northern Bavaria, central Germany. *The Holocene* 18: 243–254.
- Ernst, W.H.O., Nelissen, H.J.M., Ten Bookum, W.M. (2000): Combination toxicology of metal-enriched soils: physiological responses of a Zn- and Cu-resistant

- population of *Silene vulgaris* on polymetallic soils. *Environmental and Experimental Botany* 43: 55–71.
- Essington, M.E. (2004): *Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach*. CRC Press LLC, USA.
- FAO (2006): *Guidelines for soil description*. FAO, Rome.
- German, L. A. (2003): Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: Contributions to the debate on Amazonian Black Earth. *Geoderma* 111: 307–331.
- Ginocchio, R. (1998): Chile: restoration challenges. *Environmental Management* 6: 7–9.
- Gómez-Sagasti, M.T., Alkorta, I., Becerril, J.M., Epelde, L., Anza, M., Garbisu, C. (2012): Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation. *Water Air and Soil Pollution* 223: 49–62.
- Gong, Z.T., Zhang, X.P., Luo, G.B., Shan, H., Spaargaren, O. (1997): Extractable phosphorus in soils with a fimic epipedon. *Geoderma* 75: 289–296.
- Guo, G., Zhou, Q., Ma, L.Q. (2006): Availability and assessment of fixing additives for the in situ remediation of heavy metal contaminated soils: A review. *Environmental Monitoring and Assessment* 116: 513-528.
- Hafeez, F., Spor, A, Breuil, M.C., Schwartz, C., Martin-Laurent, F., Philippot, L. (2012): Distribution of bacteria and nitrogen-cycling microbial communities along constructed Technosol depth-profiles. *Journal of Hazardous Materials* 231–232: 88-97.
- Hayes; M.H.B., Valpp, C.E. (1991): Humic substances: Considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influence. *Soil Sciences* 166: 723-737.
- Hearing, K.C., Daniels, W.I., Roberts, J.A. (1993): Change in minesoil properties resulting from overburden weathering. *Journal of Environmental Quality* 22: 194-200.
- Hemmat, A., Aghilinategh, N., Rezainejad, Y., Sadeghi, M. (2010): Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil & Tillage Research* 108: 43–50.
- Henriquez, FS, Fernandez, JC. (1991): Metal uptake and distribution in rush (*Juncus conglomeratus* L.) plants growing in pyrites mine tailings at Lousal, Portugal. *Science of Total Environment* 102: 253–260.

- Hicks, R.E., Tondorf, S. (1994): Electrorestoration of metal contaminated soils. *Environmental Science and Technology* 28: 2203-2210.
- Higuera, P., Oyarzun, R., Biester, H., Lillo, J., Lorenzo, S. (2003): A first insight into mercury distribution and speciation in soils from the Almadén mining district, Spain. *Journal of Geochemical Exploration* 80: 95–104.
- Horaicu, C., Robu, B., Florea, F., Horaicu, M.A. (2010): Heavy metal influence on an environment generated by the mining industry: The influence of copper, zinc, lead, manganese and silver on soil quality in the Mestecanis area (Romania). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 5: 185-192.
- Huang, J.W., Chen, J.J., Berti, W.R., Cunningham, S.D. (1997): Phytoremediation of lead- contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science and Technology* 31: 800-805.
- Huot, H., Simonnot, M.O., Marion, P., Yvon, J., De Donato, P., Morel, J.L. (2012): Characteristics and potential pedogenetic processes of Technosol developing on iron industry deposits. *Journal of Soils and Sediments* 13: 555-568.
- IUSS Working Group WRB (2007): World reference base for soil resources 2006, first update 2007. A framework for international classification, correlation and communication. FAO, Rome, Italija.
- Izquierdo, I., Caravaca, F., Alguacil, M.M., Hernández, G., Roldán, A. (2005): Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions. *Applied Soil Ecology* 30:3-10.
- JDPZ (1966): Hemijske metode ispitivanja zemljišta. Priručnik za ispitivanje zemljišta. Knjiga I. Beograd, pp. 52-55.
- Jochimsen, M.E.A. (1996): Reclamation of colliery mine spoil founded on natural succession. *Water, Air, and Soil Pollution* 91: 99– 108.
- Kandeler, E., Kampichler, C., Horak, O. (1996): Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. *Biology and Fertility of Soils* 23: 299–306.
- Kandeler, E., Palli, S., Stemmer, M., Gerzabeck, M.H. (1999): Tillage changes in microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of a Haplic chernozem. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 1253-1264.

- Kang, S. (1999): Spatial structures of soil microbial communities and their controlling factors. B.S. Kyungpook National University. PhD thesis.
- Ke, W., Xiong, Z.-T., Chenc, S., Chen, J. (2007): Effects of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicus* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. *Environmental and Experimental Botany* 59: 59–67.
- Khan, M.J., Jones, D.L. (2009): Effect of Composts, Lime and Diammonium Phosphate on the Phytoavailability of Heavy Metals in a Copper Mine Tailing Soil. *Pedosphere* 19: 631–641.
- Kim, J. -S., Sparovek, G., Longo, R. M., De Melo, W. J., Crowley, D. (2007): Bacterial diversity of Terra Preta and pristine forest soil from the Western Amazon. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 684–690.
- Kuhlman, M.I., Greenfield, T.M. (1999): Simplified soil washing processes for variety of soils. *Journal of Hazardous Materials* 66: 31-45.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C. (2008): Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments – A review. *Waste Management* 28: 215–225.
- Kuntze, H. (1986): Soil reclamation, improvement, recultivation and conservation in Germany. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 149: 500–512.
- Kural, O. (1994): Coal: Resources, Properties, Utilization, Pollution. Mining Faculty, Istanbul Technical University, Turkey.
- Le Bissonnais, Y. (1996): Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425-437.
- Lehmann, A., Schad, P. (2007): WRB-Excursion on Technosols and Stagnosols through Germany in August 2007. *Journal of Soils and Sediments* 7: 426-430.
- Leštan, D., Luo, C., Li, X. (2008): The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: A review. *Environmental Pollution* 153: 3-13.
- Li Z., Ryan J.A., Chen J-L., Al-Abed S.R. (2001): Adsorption of cadmium on biosolids-amended soils. *Journal of Environmental Quality* 30: 903–911.
- Li, M.S. (2006): Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A review of research and practice. *Environmental Pollution* 347: 38-53.

- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J. and Neves, E. G. (2006): Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70: 719–730.
- Lilić, J., Filipović, V., Janošević, S., Žikić, M. (2008a): Rekultivacija separacionog jalovišta Belorečki pešćar. *Rudarski radovi* 2: 115-122.
- Lilić J., Filipović V., Nešić S., Janošević S., Žikić M. (2008b): Biološka rekultivacija Polja 2 flotacijskog jalovišta Bor. *Reciklaža i održivi razvoj* 1: 94-101.
- Lilić, J., Filipović, V., Žikić, M., Stojadinović, S. (2008c): The recultivation of the RBB-Bor Cerovo-Cementacija 1 open pit waste dump. *Journal of Agricultural Sciences* 53: 53-61.
- Lilić, J., Grujić, M., Filipović, V., Žikić, M., Stojadinović S. (2008d): Recultivation of the cavity of the closed open pit Bor. *Journal of Agricultural Sciences* 53: 45-51.
- Lilić, J., Grujić, M., Filipović, V., Žikić, M., Stojadinović, S. (2008e): Rekultivacija brane 3A flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj. *Zaštita materijala* 49: 57 – 62.
- Lindemann, W.C., Lindsey, D.L., Fresquez, P.R. (1984): Amendment of mine spoil to increase the number and activity of microorganisms. *Soil Science Society of America Journal* 48: 574-578.
- Liu, J., Xiong, Z., Li, T., Huang, H. (2004): Bioaccumulation and ecophysiological responses to copper stress in two populations of *Rumex dentatus* L. from Cu contaminated and non-contaminated sites. *Environmental and Experimental Botany* 52: 43–51.
- Lorenz, K., Lal, R. (2009): Biogeochemical C and N cycles in urban soils. *Environment International* 35: 1-8.
- Luo, C.L., Shen, Z.G., Li, X.D., 2005. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. *Chemosphere* 59: 1-11.
- Madejón E, Perez de Mora A, Felipe E, Burgos P, Cabrera F. (2006): Soil amendments reduce trace element solubility in a contaminated soil and allow regrowth of natural vegetation. *Environmental Pollution* 139:40–52.
- Mann, M.J. (1999): Full-scale and pilot-scale soil washing. *Journal of Hazardous Materials* 66: 119-136.

- Marin, J.A., Hernandez, T., Garcia, C. (2005): Bioremediation of oil refinery sludge by landfarming in semiarid conditions: influence on soil microbial activity. *Environmental Research* 98: 185-195.
- Marković, M., Cupać, S., Đurović, R., Milinović, J., Kljajić, P. (2010): Assessment of Heavy Metal and Pesticide Levels in Soil and Plant Products from Agricultural Area of Belgrade, Serbia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 58: 341–351.
- Marwick, B. (2005): Element concentrations and magnetic susceptibility of anthrosols: Indicators of prehistoric human occupation in the inland Pilbara, Western Australia. *Journal of Archaeological Science* 32: 357–368.
- Mišić Lj., Lakušić R. (1990): *Livadske biljke*, I izdanje, „Svjetlost“ Sarajevo, Zavod za udžbenike Beograd.
- Mata-González, R., Sosebee, RE, Wan, C. (2002): Shoot and root biomass of desert grasses as affected by biosolids application. *Journal of Arid Environment* 50:477–488.
- McBride, MB, Sauve, S, Hendershot, W. (1997a): Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science* 48: 337–346.
- Meliani, A., Bensoltane, A., Mederbel, K. (2012): Microbial diversity and abundance in soil: related to plants and soil type. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology* 2: 10-18.
- Mench, M, Bussière, S., Boisson-Gruppen, J., Castaing, E., Vangronsveld, J., Ruttens, A. (2003): Progress in remediation and revegetation of the barren Jales gold mine spoil after in situ treatments. *Plant and Soil* 249:187–202.
- Meng, Z. F., Zhang, Y. P. and Wang, G. D. (2007): Sorption of heavy metal and organic pollutants on modified soils. *Pedosphere* 17: 235–245.
- Milijić, Z. (1997): Jalovišta rudnika bakra, njihov uticaj na životnu sredinu i metode rekultivacije. Zbornik radova "Naša ekološka istina", 08-12. jun, Donji Milanovac, pp. 58-66.
- Ministarstvo prirodnih resurstva, rudarstva i prostornog planiranja Republike Srbije (2014): Rudarstvo. www.mprpp.gov.rs.
- Monserie, MF., Witteau, F., Villemin, G., Ouvrard, S., Morel, JL. (2009): Technosol genesis: identification of organo-mineral associations in a young Technosol

- derived from coking plant waste materials. *Journal of Soils and Sediments* 9: 534-546.
- Moreno-Jiménez, E., Esteban, E., Carpena-Ruiz, RO, Lobo, MC, Peñalosa, JM. (2012): Phytostabilisation with Mediterranean shrubs and liming improved soil quality in a pot experiment with a pyrite mine soil. *Journal of Hazardous Materials* 201-202:52–9.
- Моторина, И.В. (1975): Опыт рекултивации нарученных промисленич чландшафтовв СССР и зарубежнич странач. Обзорнаја информациа, Москва.
- Müller, B., Axelsson, M.D., Öhlander, B. (2002): Adsorption of trace elements on pyrite surface in sulfidic mine tailings from Kristineberg (Sweden) a few years after remediation. *The Science of the Total Environment* 298: 1-16.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F. (2001): Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology* 60: 193-207.
- Néel, C., Bril, H., Courtin-Nomade, A., Dutreuil, J-P. (2003): Factors affecting natural development of soil on 35-year-old sulphide-rich mine tailings. *Geoderma*, 111: 1-20.
- Novo, L.A.B. Covelo, E., González, L. (2013): The use of waste-derived amendments to promote the growth of Indian mustard in copper mine tailings. *Mineral Engineering* 53: 24-30.
- Olson, K. R., Jones, R. L., Gennadiyev, A. N., Chernyanskii, S., Woods, W. I. and Lang, J. M. (2005a): Tillage induced erosion on a mound at Cahokia archaeological site. *Soil Survey Horizons Journal* 46: 146–160.
- Olson, K. R., Jones, R. L. and Lang, J. M. (2005b): Soil formation at Millstone Bluff and Johnson Ridge in Southern Illinois. *Soil Science* 170: 457–468.
- Olson, K. R., Jones, R. L., Gennadiyev, A. N., Chernyanskii, S., Woods, W. I. and Lang, J. M. (2002): Accelerated soil erosion of a Mississippian Mound at Cahokia site in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1 911–1 921.
- Орлов, Д.С. (1985): Химия почв. Издательство Московского Университета, Москва.
- Pejčinović, J., Urošević, D. (1996): Problem održanja životne sredine u rudarstvu Srbije. *Zbornik radova, Rudarstvo i zaštita životne sredine*, Beograd.

- Peper, I. L., Gerba, C. P., Brendencke, J. W. (1995): Environmental Microbiology. Acad. Press, San Diego.
- Peppas, A, Komnitsas, K, Halikia, I. (2000): Use of organic covers for acid mine drainage control. Mineral Engineering 13:563–574.
- Pérez-de-Mora, A., Madejón, E., Burgos, P., Cabrera, F. (2006): Trace element availability and plant growth in a mine-spill contaminated soil under assisted natural remediation I. Soils. Science of the Total Environment. 363: 28–37.
- Pieri, C.J.M.G. (1992): Fertility of soils: A future for farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, Germany
- Piha, M.I., Vallack, H.W., Refler, B.M., Michael, N. (1995): A low input approach to vegetation establishment on mine and coal ash wastes in semi-arid regions: II. Lagooned pulverized fuel ash in Zimbabwe. Journal of Applied Ecology 32: 382–390.
- Pivić, R., Stanojković, A., Maksimović, S., Stevanović, D., Jošić, D., Durović, N. (2011): Improving the chemical properties of acid soils and chemical composition and yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) by use of metallurgical slag. Fresenius Environmental Bulletin 20: 875-885.
- Puskás, I. Farsang, A. (2009): Diagnostic indicators for characterizing urban soils of Szeged, Hungary. Geoderma 148: 267-281.
- Rao, P. H., He, M., Yang, X., Zhang, Y. C., Sun, S. Q. and Wang, J. S. (2006): Effect of an anionic surfactant on hydraulic conductivities of sodium- and calcium-saturated soils. Pedosphere. 16: 673–680.
- RBB (1991): Glavni projekat rekultivacije starog flotacijskog jalovišta – Flotacije Bor, Bor.
- Reeuwijk, L.P. (2002): Procedures for soil analysis. ISRIC, FAO, Wageningen.
- Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S., Lu, X. (2002): Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. Geoderma 110: 13–146.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., Tan, C.S. (2008): Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. Geoderma 146: 466–474.

- Ribert, I, Ptacek, CJ, Blowes, DW, Jambor, JL. (1995): The potential for metal release by reductive dissolution of weathered mine tailings. *Journal of Contaminant Hydrology* 17: 239–273.
- Rizzi, L, Petruzzelli, G, Poggio, G, Vigna Guidi, G. (2004): Soil physical changes and plant availability of Zn and Pb in a treatability test of phytostabilization. *Chemosphere* 57:1039–1046.
- Roberts, J.A., Daniels, J.C., Bell, J.C., Burger, J.A. (1988): Early stages of mine soil genesis in a Southwest Virginia spoil lithosequence. *Soil Science Society of America Journal* 52: 716-723.
- Rojó, A., Cubillos, L. (2009): Electrodialytic remediation of copper mine tailings using bipolar electrodes. *Journal of Hazardous Materials* 168: 1177–1183.
- Romic, M. Romic, D. (2003): Heavy metal distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environ. Geology* 43: 795–805.
- Rossiter G.D. (2007): Classification of urban and industrial soils in the World Reference Base for soil Resources. *Journal of Soils and Sediments* 7: 96-100.
- Rousk, J., Brookes, P.C, Bååth, E. (2009): Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied Environmental Microbiology* 75:1589–1596.
- Rumpel, C., Knicker, H., Kfgel-Knabner, I., Skjemstad, J.O., Hqttl, R.F. (1998): Types and chemical composition of organic matter in reforested lignite-rich mine soils. *Geoderma* 86: 123– 142.
- Santibáñez, C., Verdugo, C., Ginocchio, R. (2008): Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: Implications for metal uptake and productivity of *Lolium perenne*. *Science of Total Environment*. 395: 1–10.
- Schippers, A., Breuker, A., Blazejak, A., Bosecker, K., Kock, D., Wright, T.L. (2010): The biogeochemistry and microbiology of sulfidic mine waste and bioleaching dumps and heaps, and novel Fe(II)-oxidizing bacteria. *Hidrometallurgy* 104: 342-350.
- Séré, G., Schwartz, C., Ouvrard, S., Renat, J-C., Watteau, F., Villemin, G., Morel, JL. (2010): Early pedogenic evolution of constructed Technosols, *Journal of Soils and Sediments* 10: 1246–1254.

- Shen, Z.G., Li, X.D., Wang, C.C., Chen, H.M., Chua, H. (2002): Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass plant species. *Journal of Environmental Quality* 31: 1893-1900.
- Shrestha, R.K., Lal, R., 2008. Land use impacts on physical properties of 28 years old reclaimed mine soils in Ohio. *Plant and Soil* 306: 249–260.
- Shukla, M.K., Lal, R., Underwood, J., Ebinger, M. (2004a): Physical and hydrological characteristics of reclaimed minesoils in southeastern Ohio. *Soil Science Society of America Journal* 68: 1352–1359.
- Shukla, M.K., Lal, R., Ebinger, M. (2004b): Soil quality indicators for reclaimed minesoils in southeastern Ohio. *Soil Science* 169: 133–142.
- Simon, L. (2005): Stabilisation of metals in acidic mine spoil with amendments and red fescue (*Festuca rubra* L.) growth. *Environmental Geochemistry and Health* 27: 289-300.
- Skujins, J. (1976): Extracellular enzymes in soil. *CRC Critical Reviews in Microbiology* 4: 383–421.
- Službeni glasnik RS (1994): Pravilnik o dozvoljenim količinama štetnih i opasnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metode njihove analize. Beograd.
- SO Bor (2003): Lokalni ekološki akcioni plan Opštine Bor, http://www.mibor.rs/projekti/leap/pdf/leap_dok.pdf.
- Solomon, D., Lehmann, J., Thies, J., Schäfer, T., Liang, B., Kinyangi, J., Neves, E., Petersen, J., Luizão, F. and Skjemstad, J. (2007): Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian Dark Earths. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71: 2 285–2 298.
- Sracek, O., Mihaljevič M., Kribek B., Majer V., Veselovsky F. (1010): Geochemistry and mineralogy of Cu and Co in mine tailings at the Copperbelt, Zambia. *Journal of African Earth Science* 57: 14-30.
- Stricevic, R., Djurovic, N., Djurovic, Z. (2011): Drought classification in Northern Serbia based on SPI and statistical pattern recognition. *Meteorological Applications* 18: 60–69.
- Stricevic R., Djurovic, N., Djurovic, Z. (2012): One approach to regional drought classification. In: Neves, D.F. and Sanz, J.D. (Eds.), *Droughts: New Research*. Nova Science Publishers, pp. 243-266.

- Swift, R. (2001): Sequestration of carbon by soil. *Soil Science* 166: 858-871.
- Šourkova, M., Frouz, J., Šantrůčková, H. (2005): Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). *Geoderma* 124: 203-214.
- Tabatabai, M.A. (1994): Soil enzymes. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties*. SSSA Book Series, No 5, Soil Science Society of America Inc. Madison WI, pp: 775-833.
- Tate, R. L. (2000): *Soil Microbiology*, John Wiley & Sons, Inc New York.
- Towers, W, Paterson, E. (1997): Sewage sludge application to lands: a preliminary assessment of the sensitivity of Scottish soils to heavy metals inputs. *Soil Use and Management* 13:149–155.
- U.S. Environmental Protection Agency, *Terms of Environment: Glossary, Abbreviations and Acronyms*, www.epa.gov/OCEPAterms.
- Vanthuyne, M., Maes, A. (2002): The removal of heavy metals from contaminated soil by a combination of sulfidisation and flotation. *Science of the Total Environment* 290: 69-80.
- Vega, F.A., Covelo, E.F., Andrade, M.L. (2005): Limiting factors for reforestation of mine spoils from Galicia (Spain). *Land Degradation and Development* 16: 27–36.
- Velasquez, E., Lavelle, P., Andrade, M. (2007): GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 3066–3080.
- Viventsova (Ruth), E., Kumpiene, J., Gunneriusson, L., Holmgren, A. (2005): Changes in soil organic matter composition and quantity with distance to a nikel smelter - a case study on the Kola Peninsula, NW Russia. *Geoderma* 127: 216-226.
- Watteau, F, Villemin, G, Burtin, G, Jocteur-Monrozier, L. (2006): Root impact on the stability and types of micro-aggregates in silty soil under maize. *European Journal of Soil Science* 57: 247–257
- Wei, C., Ni, J., Gao, M., Xie, D. and Hasegawa, S. (2006): Anthropogenic pedogenesis of purple rock fragments in Sichuan Basin, China. *Catena* 68: 51–58.
- Welp, G. (1999): Inhibitory effects of the total and water-soluble concentrations of nine different metals on the dehydrogenase activity of a loess soil. *Biology and Fertility of Soils* 30: 132–139.

- Wong, JWC, Ip, CM, Wong, MH. (1998): Acid-forming capacity of lead–zinc mine tailings and its implications for mine rehabilitation. *Environmental Geochemistry and Health* 20: 149–155.
- Wong, M.H. (2003): Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere* 50: 775-780.
- Woods, W. I. (2004): Population nucleation, intensive agriculture, and environmental degradation: The Cahokia example. *Agriculture and Humans Values*. 2: 151–157.
- Woods, W. I., Falcão, N. P. S. and Teixeira, W. G. (2006): Biochar trials aim to enrich soil for smallholders. *Nature* 443: 108-144.
- Wu, J., Hsu, F.C., Cunningham, S.D. (1999): Chelate-assisted Pb phytoextraction: Pb availability, uptake and translocation constraints. *Environmental Science and Technology* 33: 1898-1904.
- Yao, F. X., Yu, G. F., Wang, F. Y., Yang, X. L. and Jiang, X. (2008): Aging activity of DDE in dissimilar rice soils in a greenhouse experiment. *Chemosphere* 71: 1188–1195.
- Ye, Z.H., Shu, W.S., Zhang, Z.Q., Lan, C.Y., Wong, M.H. (2002): Evaluation of major constraints to revegetation of lead/zinc mine tailings using bioassay techniques. *Chemosphere* 47: 1103-1111.
- Young, K. (1988): Destruction of ecological habitats by mining activities. *Agricultural Ecology* 16: 37-40.
- Zhang, FP, Li, CF, Tong, LG, Yue, LX, Li, P, Ciren, YJ, et al. (2010): Response of microbial characteristics to heavy metal pollution of mining soils in central Tibet, China. *Applied Soil Ecology* 45:144–151.
- Zikeli, S., Kastler, M., Jahn, R. (2005): Classification of Anthrosols with vitric/andic properties derived from lignite ash. *Geoderma* 124: 253–265.
- Žikić, M., Pantović, R., Stojadinović, S. (2009): First century of Bor mine – chronology. *Zbornik radova, IRSE (Istorija rudarstva srednje Evrope)*, 27-29. septembar, Fruška Gora, pp. 229-236.

8. PRILOZI

Tabela 37. Boja površinskih uzoraka (0-25 cm) zemljišta na kopovskom jalovištu Rudnika bakra – Bor.

Uzorak	Boja (suvo)		Boja (vlažno)	
	dominantna	manje zastupljena	dominantna	manje zastupljena
1	10YR 6/8	-	10YR 7/8	-
2	10YR 3/3	-	2,5Y 6/3	-
3	10YR 5/8	7,5Y 8/3	10YR 8/8	7,5YR 6/8
4	2,5YR 7/6	-	2,5Y 8/4	-
5	10YR 5/8, 3/1	-	10 YR 8/8 2,5Y 5/1	-
6	2,5YR 4/4	-	2,5 6/3	-
7	5YR 4/8	-	10YR 6/8	-
8	10YR 5/8	-	10YR 6/6	-
9	10YR 7/8, 8/2	-	2,5YR 8/6, 5Y 8/2	-
10	2,5Y 7/8	5Y 7/6	2,5YR 8/6	-
11	2,5YR 3/3	-	5Y 7/2	-
12	10Y 5/1	7,5YR 5/8	5Y 5/1, 10YR 6/8	-
13	5Y 8/4	-	5Y 8/4	-
14	10YR 5/8	-	2,5Y7/8	-
15	10YR 5/6	-	2,5Y 6/6	-
16	5Y 7/4	-	5Y 8/3	-
17	2,5Y 3/1	2,5Y 6/8	5Y 5/1	2,5Y 7/8
18	2,5Y4/1	-	2,5Y 6/1	-
19	2,5Y 3/3	-	10YR 5/3	-
20	10YR 7/8, 5Y 8/4	-	2,5Y 7/8	5Y 8/4
21	10YR 3/4	5Y 8/4	10YR 8/8	2,5Y 6/1
22	10YR 3/1	10YR 5/8	5Y 6/1	10YR 7/8
23	10YR 7/8	5Y 4/1	N 6/0	-
24	2,5Y 6/8	-	2,5Y 6/6, 6/8	-
25	10YR 5/8	-	2,5Y 6/8	-
26	10YR 5/6	-	2,5Y 5/6	-
27	10YR 7/8	-	2,5Y7/8	10YR 7/8
28	10YR 7/8	-	7,5Y 8/3 10YR 7/8	-
29	2,5Y 4/6, 5Y 2/1	-	5Y5/1	10YR 7/8
30	2,5Y3/3	7,5YR 5/8 7,5Y 8/2	10YR 7/8 2,5Y8/1, 5/2	-

Tabela 38. Mehanički sastav površinskih uzoraka (0-25 cm) zemljišta na kopovskom jalovištu Rudnika bakra - Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta.

	ukupn skeletal	kamen	šljunak	ukupan pesak	krupni pesak	sitni pesak	fizička glina	prah	glina
Kopovsko jalovište									
1	36,91	0	36,91	69,80	35,76	34,04	30,20	19,96	10,24
2	35,11	0	35,11	81,32	45,93	35,39	18,68	13,44	5,24
3	8,63	0	8,63	64,32	32,29	32,03	35,68	21,36	14,32
4	60,24	4,48	55,76	73,04	51,63	21,41	26,96	12,80	14,16
5	54,91	0	54,91	72,36	53,48	18,88	23,48	12,36	11,12
6	29,22	7,33	21,99	74,24	41,24	33,00	25,76	14,48	11,28
7	61,47	17,34	44,13	80,32	47,28	33,04	19,68	12,04	7,64
8	42,16	17,83	24,33	80,08	53,35	26,73	19,92	11,96	7,96
9	17,92	0	17,92	64,32	41,35	22,97	35,68	19,12	16,56
10	5,93	0	5,93	81,04	42,70	38,34	18,96	13,88	5,08
11	56,33	17,05	39,28	75,20	40,53	34,67	24,80	16,64	8,16
12	21,43	3,64	17,79	73,84	51,87	21,97	26,16	15,40	10,76
13	27,5	9,49	18,01	55,48	29,67	25,81	44,52	21,00	23,52
14	42,16	14,43	27,73	68,88	42,58	26,30	31,12	17,32	13,80
15	66,56	13,36	53,20	84,80	55,08	29,72	15,50	9,68	5,52
16	23,36	0	23,36	71,48	42,22	29,26	28,52	19,36	9,16
17	54,75	0	54,75	88,76	54,53	34,23	11,24	7,28	3,28
18	43,45	9,06	34,39	81,32	48,35	32,97	18,68	12,56	6,12
19	66,08	22,69	43,39	74,80	44,18	30,62	25,20	13,12	12,08
20	29,35	0	29,35	54,00	23,90	30,10	46,00	40,52	5,48
21	60,05	7,08	52,97	71,88	43,90	27,98	28,12	17,88	10,24
22	58,55	20,18	38,37	80,56	46,26	34,30	19,44	12,92	6,52
23	65,82	6,38	59,44	85,36	47,86	37,50	14,64	13,72	0,92
24	58,51	8,45	50,06	86,78	48,53	38,25	13,22	11,65	1,57
25	47,56	7,51	40,05	87,44	55,41	32,03	12,56	10,08	2,48
26	58,38	11,97	46,41	86,56	47,85	38,71	13,44	9,72	3,72
27	59,02	15,10	43,92	78,60	42,61	35,99	21,40	12,56	8,84
28	35,97	0	35,97	79,36	41,21	38,15	20,64	19,32	1,32
29	18,91	0	18,91	51,52	26,96	24,56	48,48	42,80	5,68
30	67,38	2,68	64,70	81,88	46,65	35,23	18,12	11,84	6,28
Kontrolno prirodno zemljište									
1	0	0	0	29,68	7,19	22,49	70,32	25,68	44,64
2	0	0	0	31,12	8,59	22,53	68,88	30,32	38,56
3	0	0	0	58,84	23,91	34,93	41,16	21,20	19,96
4	0	0	0	26,40	4,24	22,16	73,60	26,40	47,20
5	0	0	0	38,16	11,74	26,42	61,84	15,20	46,64

Tabela 39. Strukturne karakteristike površinskih uzoraka zemljišta (0-25 cm) na kopovskom jalovištu Rudnika bakra - Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta.

No	Vodostabilni strukturni agregati u %						MWD	SI	
	> 3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25			>0,25
(mm)									
Kopovsko jalovište									
1	8,10	3,96	8,74	14,33	5,41	59,46	40,54	0,88	0,79
2	20,43	10,12	13,68	13,46	2,63	39,68	60,32	1,75	9,20
3	4,93	3,91	8,58	17,70	7,56	57,32	42,68	0,73	0,73
4	18,83	3,11	3,99	6,88	1,93	65,26	34,74	1,31	0,89
5	31,71	6,11	7,03	9,24	2,83	43,08	56,92	2,14	4,90
6	7,72	6,59	8,48	13,74	6,29	57,18	42,82	0,91	1,86
7	13,33	7,03	15,66	17,68	4,11	42,19	57,81	1,34	2,03
8	5,42	3,48	10,91	14,33	3,98	61,88	38,12	0,75	1,81
9	31,24	13,12	7,16	9,66	2,26	36,56	63,44	2,28	0,42
10	4,89	5,56	11,34	12,59	7,44	58,18	41,82	0,83	0,79
11	11,97	5,56	7,94	8,89	3,82	61,82	38,18	1,07	3,18
12	8,04	7,72	9,65	13,36	4,21	57,02	42,98	0,97	6,80
13	3,85	2,80	8,99	9,25	2,13	72,98	27,02	0,58	0,49
14	2,88	2,77	8,05	11,50	4,82	69,98	30,02	0,54	1,09
15	4,51	3,67	9,10	10,76	3,66	68,30	31,70	0,66	2,32
16	1,45	2,48	6,85	11,52	6,05	71,65	28,35	0,44	0,52
17	4,09	4,63	11,78	9,83	3,74	65,93	34,07	0,69	3,82
18	0,84	1,92	5,84	12,32	4,51	74,57	25,43	0,38	1,93
19	6,48	1,47	9,24	10,70	7,21	64,90	35,10	0,72	2,26
20	2,63	2,60	6,70	15,35	11,48	61,24	38,76	0,54	0,31
21	6,91	5,25	8,39	9,44	3,35	66,66	33,34	0,80	2,56
22	11,96	5,49	10,44	13,67	5,59	52,85	47,15	1,14	2,31
23	11,28	7,60	14,41	13,18	7,49	46,04	53,96	1,21	4,71
24	11,65	6,32	14,21	12,82	6,64	47,73	52,26	1,12	2,34
25	11,99	6,12	14,20	12,64	5,62	49,43	50,57	1,20	2,71
26	6,97	7,30	13,00	11,83	6,67	54,23	45,77	0,94	0,30
27	1,97	5,80	12,20	12,36	5,74	61,93	38,07	0,63	2,99
28	12,63	8,54	15,14	13,23	4,84	45,62	54,38	1,31	0,58
29	8,52	6,32	13,98	11,83	5,95	53,40	46,60	1,01	0,25
30	17,23	9,45	10,64	10,10	3,55	49,03	50,97	1,49	2,92
Kontrolno prirodno zemljište									
1	41,88	11,32	17,68	11,54	1,13	16,45	83,55	2,96	4,92
2	57,32	10,54	12,19	4,50	0,80	14,65	85,35	3,65	5,30
3	11,20	7,20	0,64	16,45	1,96	62,55	0,51	1,01	4,30
4	71,51	4,75	6,91	4,01	0,68	12,14	71,51	4,20	5,66
5	0,51	3,02	30,02	20,71	2,16	43,58	56,42	0,77	2,41

Tabela 40. Hemijske karakteristike površinskih uzoraka zemljišta (0-25 cm) na kopovskom jalovištu Rudnika bakra - Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta.

No.	pH		C %	Humus %	Razmenljiva kiselost m.ekv.	Hidrolitička kiselost m.ekv.	CEC m.ekv.
	u H ₂ O	u KCl					
Kopovsko jalovište							
1	3,55	3,18	0,14	0,24	4,67	17,75	18,50
2	6,83	5,94	0,70	1,21	1,55	2,27	18,50
3	3,24	2,80	0,15	0,26	3,58	27,72	27,50
4	3,89	3,25	0,14	0,24	4,44	20,50	20,75
5	5,27	4,51	0,67	1,15	5,24	10,07	19,25
6	4,46	3,68	0,28	0,48	4,51	20,47	24,75
7	4,27	3,67	0,23	0,40	4,52	22,25	27,50
8	4,18	3,61	0,21	0,36	4,37	24,45	25,00
9	3,27	2,90	0,09	0,15	4,08	13,97	14,75
10	3,28	2,78	0,09	0,15	3,93	20,55	20,00
11	7,36	6,31	0,46	0,79	0	0	20,03
12	6,95	6,53	1,21	2,09	1,91	2,60	24,20
13	3,41	3,30	0,13	0,22	4,39	22,75	22,80
14	3,78	3,41	0,20	0,34	5,82	26,15	26,20
15	3,52	3,34	0,21	0,36	4,42	22,25	25,75
16	3,00	2,77	0,09	0,15	3,97	25,02	25,40
17	5,47	4,37	0,25	0,43	5,29	18,20	27,10
18	4,82	3,88	0,21	0,36	4,69	20,80	21,37
19	4,87	3,93	0,33	0,57	5,15	17,87	28,60
20	3,31	3,36	0,09	0,15	4,27	27,60	27,50
21	5,95	5,23	0,42	0,72	3,86	4,87	24,11
22	4,84	4,33	0,26	0,45	4,97	13,00	22,16
23	4,60	4,21	0,40	0,69	4,94	19,50	27,20
24	4,39	4,15	0,28	0,51	4,73	20,34	26,31
25	4,15	3,58	0,20	0,34	4,62	21,52	25,00
26	4,54	4,10	0,23	0,40	5,32	24,37	26,50
27	4,11	3,79	0,37	0,64	4,53	23,87	24,80
28	3,30	3,13	0,07	0,12	4,02	22,75	23,20
29	3,07	2,94	0,07	0,12	4,08	22,62	22,10
30	6,64	6,21	0,31	0,53	1,16	2,60	20,80
Kontrolno prirodno zemljište							
1	5,97	4,98	2,01	3,46	5,70	11,37	40,75
2	7,46	6,58	2,11	3,65	1,51	2,27	42,25
3	5,40	4,32	1,03	1,77	5,59	13,65	27,50
4	5,42	4,47	2,42	4,17	5,06	17,22	42,25
5	5,64	4,28	0,86	1,49	5,05	11,70	46,25

Tabela 41. Sastav humusa u ispitivanim površinskim uzorcima zemljišta (0-25 cm) na jalovištima Rudnika bakra - Bor i kontrolnim prirodnim zemljištima.

No.	C %	Humus %	Ch %	Cf %	Humini %	Ch:Cf
Kopovsko jalovište						
2	0,7	1,21	11,43	15,71	72,86	0,73
Kontrolno prirodno zemljište						
1	2,01	3,46	11,85	10,40	77,75	1,14
2	2,11	3,65	19,90	11,85	68,25	1,68
3	1,03	1,77	19,42	22,33	58,25	0,87
4	2,42	4,17	24,79	16,94	58,27	1,46
5	0,86	1,49	18,60	22,09	59,31	0,84
Flotacijsko jalovište						
5	0,38	0,65	18,42	28,95	52,63	0,64
6	0,86	1,48	13,96	32,55	53,49	0,43
7	1,45	2,50	18,36	31,03	50,34	0,60
8	1,34	2,31	17,71	29,85	52,24	0,60
9	1,38	2,34	15,22	30,42	54,35	0,50
10	0,95	1,64	16,84	34,74	48,42	0,48
11	0,83	1,43	15,66	25,30	59,04	0,62
12	0,74	1,27	12,17	33,78	54,05	0,36
13	0,75	1,29	12,00	32,00	56,00	0,37
14	0,76	1,31	15,79	31,58	52,63	0,50
15	0,98	1,69	15,31	28,57	56,12	0,54
16	0,47	0,81	14,89	23,40	61,71	0,64
17	0,89	1,53	19,11	29,21	51,68	0,65
18	0,92	1,59	20,65	25,00	54,35	0,83
19	0,48	0,83	12,50	27,08	60,42	0,46
20	1,09	1,88	13,77	27,52	58,71	0,50
21	1,41	2,43	21,28	23,40	55,32	0,91
22	0,70	1,21	17,14	24,29	58,57	0,70
23	1,20	2,07	18,33	18,33	63,34	1,00
29	0,43	0,74	13,95	13,95	72,10	1,00
30	0,95	1,64	21,05	11,58	67,37	1,82
Kontrolno prirodno zemljište						
1	3,46	5,96	14,16	13,58	72,26	1,04
2	3,88	6,69	19,59	17,01	63,40	1,15
3	3,43	5,91	22,74	23,91	53,35	0,95
4	2,18	3,76	20,18	23,39	56,43	0,86
5	4,11	7,08	20,44	15,57	63,99	1,31

Tabela 42. Boja površinskih uzoraka (0-25 cm) zemljišta na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra – Bor..

Uzorak	Boja (suvo)		Boja (vlažno)	
	dominantna	manje zastupljena	dominantna	manje zastupljena
1	2,5Y 7/3	7,5YR 4/6	5Y 8/2	7,5YR 4/6
2	5Y 8/1	-	5Y 8/1	-
3	10Y 8/2, 7,5Y 8/1	-	2,5Y 8/1, 5Y 8/1	-
4	10YR 6/8	-	N 8/0	-
	2,5Y 8/1		10YR 7/8	
5	2,5Y 7/3	10YR 3/2	5Y 8/2	10YR 3/4
6	10YR 3/2	5Y 8/3	10YR 4/3	5Y 8/3
7	2,5Y 4/2	5Y 8/2	2,5Y 6/2, 10YR 3/3	-
8	10YR 3/2	-	10YR 4/3	-
9	10YR 3/2	-	10YR 4/3	-
10	10YR 3/2	-	10YR 5/3	-
11	10YR 3/3	-	10YR 6/3	-
12	10YR 3/3	-	10YR 4/3	-
13	10YR 3/2	7,5Y 8/3	10YR 6/3	5Y 8/7
14	10YR 3/4	-	10YR 4/3	-
15	10YR 3/2	-	10YR 4/3	-
16	10YR 4/3	-	10YR 5/3	-
17	10YR 3/3	-	10YR 5/4	-
18	10YR 3/3	-	10YR 5/4	-
19	10YR 4/3	-	10YR 5/3	-
20	10YR 3/4	-	10YR 4/3	-
21	10YR 3/3	-	10YR 4/3	-
22	10YR 4/3	10YR 7/8	10YR 4/2	-
23	10YR 3/4	-	5Y 8/1	-
24	5Y 8/2	-	5Y 8/2	-
25	5Y 7/2	-	5Y 8/2	-
26	7,5Y 8/1	10YR 7/8	5Y 8/1, N 8/0	10YR 8/8
27	7,5Y 8/2	-	5Y 8/2	-
28	5Y 6/3	-	5Y 7/2	-
29	10YR 4/3	2,5Y 8/1, N 8/0	2,5Y 6/3	5Y 8/1, N 8/0
30	10YR 5/6	-	2,5Y 7/6	-

Tabela 43. Mehanički sastav površinskih uzoraka zemljišta (0-25 cm) na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra - Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta.

No	ukupn skelet	kamen	šljunak	ukupan pesak	krupni pesak	sitni pesak	fizička glina	prah	glina
Flotacijsko jalovište									
1	14,20	0	14,20	83,80	23,81	59,99	16,20	9,80	6,40
2	0	0	0	76,28	12,16	64,12	23,72	17,36	6,36
3	0	0	0	35,80	0,22	35,58	64,20	64,2	0
4	0	0	0	37,52	2,06	35,46	62,48	47,56	14,92
5	7,47	0	7,47	65,40	13,62	51,78	34,60	20,20	14,40
6	20,25	0	20,25	53,60	15,73	37,87	46,40	21,28	25,32
7	17,70	0	17,70	63,16	20,28	42,88	36,84	17,04	19,80
8	15,28	0	15,28	43,52	13,37	30,15	56,48	25,52	30,96
9	19,17	0	19,17	43,60	13,95	29,65	56,40	25,36	31,04
10	13,07	0	13,07	52,48	22,18	30,30	47,52	21,20	26,32
11	3,54	0	3,54	66,86	28,95	37,91	33,14	15,46	17,52
12	6,95	0	6,95	58,56	27,48	31,08	41,44	16,00	25,44
13	5,30	0	5,30	64,64	25,88	38,76	35,36	16,68	18,68
14	11,13	0	11,13	55,56	24,07	31,49	44,44	17,24	27,20
15	17,64	0	17,64	62,80	33,99	28,81	37,20	15,64	21,56
16	4,04	0	0,04	64,44	27,53	36,91	35,56	15,32	20,24
17	9,34	0	9,34	51,00	15,59	35,41	49,00	22,48	26,52
18	29,43	0	29,43	60,00	22,46	37,54	40,00	18,96	21,04
19	24,35	0	24,35	69,44	30,89	38,55	30,56	14,80	15,76
20	23,65	0	23,65	50,56	19,47	31,09	49,44	20,68	28,76
21	10,74	0	10,74	46,20	19,47	26,73	53,80	26,76	27,04
22	11,32	0	11,32	64,80	18,10	47,70	35,20	7,56	17,64
23	36,23	0	36,23	54,08	23,53	30,55	45,92	24,88	21,04
24	0	0	0	65,79	22,43	43,36	34,21	14,23	19,98
25	0	0	0	95,48	21,87	73,61	4,52	2,32	2,20
26	0	0	0	94,84	24,19	70,65	5,16	2,88	2,28
27a	0	0	0	59,88	27,38	32,50	40,12	31,20	8,92
27b	0	0	0	87,40	0,28	87,12	12,60	7,68	4,92
28a	0	0	0	20,76	19,22	1,54	79,24	60,04	19,20
28b	0	0	0	81,32	0,25	81,07	18,68	12,92	5,76
29	0	0	0	29,80	1,68	28,12	70,20	53,12	17,08
30	8,13	0	8,13	77,88	29,67	48,21	22,12	11,60	10,52
Kontrolno prirodno zemljište									
1	0	0	0	51,60	18,03	33,57	48,40	28,20	20,20
2	0	0	0	43,88	17,19	26,69	56,12	26,40	29,72
3	0	0	0	44,00	17,75	26,25	56,00	25,56	30,44
4	0	0	0	45,84	22,13	23,71	54,16	29,60	24,56
5	0	0	0	35,92	10,56	25,36	64,08	26,64	37,44

Tabela 44. Strukturne karakteristike površinskih uzoraka zemljišta (0-25 cm) na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra - Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta.

No.	Vodostabilni strukturni agregati u %						MWD	SI	
	> 3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25			>0,25
(mm)									
Kopovsko jalovište									
1	0	0,40	5,49	7,93	5,65	80,53	19,47	0,46	2,47
2	1,80	0,80	0,43	0,40	0,21	96,36	3,64	0,21	0,59
3	0	0	0,80	0,20	0,20	98,80	1,20	0,14	0,14
4	0,80	0,80	0,20	0,64	0,30	97,26	2,74	0,19	0,19
5	2,64	1,21	7,47	11,99	5,93	70,76	29,24	0,49	1,88
6	5,87	6,11	11,88	1,83	1,72	72,59	27,41	0,76	3,20
7	6,03	3,44	8,32	14,20	9,18	58,83	41,17	0,76	10,49
8	17,65	7,91	21,01	22,27	5,43	25,73	74,27	1,72	4,09
9	9,00	10,28	23,06	25,41	6,53	25,72	74,28	1,34	4,15
10	8,05	8,07	31,04	14,91	1,70	36,23	63,77	1,28	3,45
11	3,24	4,23	17,17	14,47	4,70	59,19	40,81	0,70	4,31
12	7,85	10,24	23,41	21,81	9,71	26,98	73,02	1,27	3,06
13	5,39	9,44	19,39	15,54	4,28	45,96	54,04	1,01	3,65
14	7,56	1,32	18,40	20,20	5,41	47,11	52,89	0,96	2,95
15	5,81	4,55	8,41	19,00	5,25	56,98	43,02	0,79	7,23
16	1,64	2,25	8,92	19,26	6,23	61,70	38,30	0,52	2,28
17	2,46	3,14	14,28	25,87	8,92	45,33	54,67	0,71	3,12
18	7,63	5,37	10,20	19,62	7,80	49,38	50,62	0,94	3,97
19	3,58	7,99	19,72	21,22	3,99	43,50	56,50	0,92	2,71
20	12,02	17,28	31,16	13,70	1,68	24,16	75,84	1,70	3,80
21	9,90	0,25	25,80	20,76	2,68	40,61	59,39	1,15	2,66
22	2,16	2,70	8,70	25,71	10,51	50,22	49,78	0,61	3,44
23	11,18	8,93	15,46	17,03	2,96	44,44	55,56	1,26	4,51
24	2,13	2,37	5,21	9,03	3,23	78,03	21,97	0,47	2,76
25	0	0,15	0,67	6,08	20,66	72,44	27,56	0,23	3,10
26	0,07	0,17	3,40	8,89	15,31	72,16	27,84	0,27	3,68
27	0	0	0,28	0,50	0,57	98,65	1,35	0,13	0,17
27a	0	0	0	0	0	0	0	0	0,40
27b	0,20	0,35	2,93	57,85	23,26	15,41	84,59	0,60	1,93
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14
30	0,47	2,77	8,54	15,03	7,30	65,89	34,11	0,44	3,34
Kontrolno prirodno zemljište									
1	39,79	8,78	15,21	9,83	1,53	24,86	75,14	2,74	12,31
2	56,20	7,41	13,69	6,31	0,65	15,74	84,26	3,55	11,92
3	23,86	9,07	21,83	11,48	1,37	32,39	67,61	2,00	10,55
4	38,23	10,66	16,16	7,79	1,56	25,60	74,40	2,71	6,94
5	54,62	10,69	13,32	4,76	1,03	15,58	84,42	3,53	11,05

Tabela 45. Hemijske karakteristike površinskih uzoraka zemljišta (0-25 cm) na flotacijskom jalovištu Rudnika bakra - Bor i kontrolnih prirodnih zemljišta.

No.	pH		C %	Humus %	Razmenljiva kiselost m.ekv.	Hidrolitička kiselost m.ekv.	CEC m.ekv.
	u vodi	u KCl					
Flotacijsko jalovište							
1	3,43	2,21	0,23	0,40	3,71	8,27	8,50
2	4,00	3,16	0,08	0,14	4,23	5,85	6,50
3	3,83	3,38	0,05	0,09	4,87	5,85	6,75
4	3,12	2,95	0,07	0,12	4,23	6,65	6,75
5	4,08	3,38	0,38	0,65	4,68	16,25	17,75
6	4,55	3,81	0,86	1,48	4,96	14,95	27,50
7	4,66	3,84	1,45	2,50	5,05	14,95	22,00
8	6,25	5,27	1,34	2,31	5,77	6,50	21,40
9	6,61	5,60	1,38	2,34	6,19	6,50	20,00
10	6,64	5,42	0,95	1,64	6,06	6,50	22,50
11	4,81	3,46	0,83	1,43	4,85	20,47	24,80
12	5,37	3,88	0,74	1,27	5,16	11,37	26,60
13	4,65	3,41	0,75	1,29	4,76	24,37	28,40
14	5,45	3,95	0,76	1,31	6,14	10,40	28,90
15	5,81	4,41	0,98	1,69	5,19	8,77	31,25
16	4,52	3,24	0,47	0,81	4,19	30,87	30,80
17	4,87	3,60	0,89	1,53	5,43	16,90	32,40
18	6,42	5,24	0,92	1,59	3,58	4,55	36,80
19	5,10	3,50	0,48	0,83	5,38	13,00	35,20
20	7,00	6,01	1,09	1,88	1,14	3,90	40,00
21	7,60	5,92	1,41	2,43	1,31	1,90	20,60
22	4,61	3,59	0,70	1,21	4,59	22,75	22,40
23	7,12	6,50	1,20	2,07	1,55	3,25	30,60
24	6,32	5,51	1,13	1,61	4,20	16,17	18,80
25	4,64	3,64	0,08	0,19	5,74	9,20	18,80
26	5,17	3,61	0,11	0,07	5,54	14,87	27,20
27a	4,74	3,68	0,04	0,05	5,87	11,22	14,40
27b	6,15	4,93	0,03	0,09	1,13	3,57	7,25
28a	5,31	4,02	0,05	0,36	4,38	4,87	6,75
28b	4,94	4,32	0,21	0,10	5,46	5,50	5,75
29	4,91	3,92	0,43	0,74	5,06	6,00	6,50
30	3,84	3,18	0,95	1,64	4,56	16,22	16,50
Kontrolno prirodno zemljište							
1	4,96	4,10	3,46	5,96	4,85	24,37	36,25
2	6,48	5,70	3,88	6,69	6,02	10,40	50,50
3	5,00	4,06	3,43	5,91	4,85	31,52	42,25
4	5,52	4,59	2,18	3,76	5,36	17,22	34,00
5	6,75	5,89	4,11	7,08	3,95	7,15	56,50

BIOGRAFIJA AUTORA

Jasmina A. Lilić rođena je 09.08.1967. godine u Boru. Osnovnu i srednju školu završila je u Boru. Poljoprivredni fakultet u Zemunu upisala je 1986. godine, Odsek za vodoprivredne melioracije. Diplomirala je iz predmeta Konzervacija zemljišta i voda dana 23.06.1994. godine sa ocenom 10 (deset). Naziv diplomskog rada je: Metode uređenja jalovišta i mehanizacija.

Školske 2008/09. godine upisala je na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu Doktorske akademske studije, studijski program Poljoprivredne nauke, modul Melioracije zemljišta.

U poljoprivrednoj zadruzi Ratar-Slatina završila je pripravnički staž 1995. godine, gde je učestvovala u mnogim programima Ministarstva poljoprivrede na unapređenju razvoja poljoprivrede seoskih samostalnih i zadružnih gazdinstava.

Jun 1996 godine zasniva stalni radni odnos RBB-u Bor, Sektor za ekologiju i ekproprijaciju, kao inženjer za rekultivaciju kopovskih i flotacijskih jalovišta, a zatim kao inženjer za vodosnabdevanje jalovišta. 1998 godine je bila rukovodilac Međunarodnog eko-kampa na Borskom jezeru, gde je učestvovala u realizaciji projekta Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede na pošumljavanju goleti i melioracija degradiranih šuma i šikara područja Bora.

Učestvovala je na projektima zaštite životne sredine i u programima Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede na pošumljavanju goleti i melioracija degradiranih šuma od strane RBB-a Bor, praćenju industrijskog otpada po pogonima RBB-a Bor, procenama i obračunavanjima šteta na poljoprivrednom i šumskom zemljištu pri ekproprijaciji od strane RBB-a Bor, učestvovala je u programima izvođenja rekultivacije kopovskih i flotacijskih jalovišta RBB-a Bor, bila je stručni nadzor pri izvođenju radova tehničke rekultivacije kopovskih i flotacijskih jalovišta RBB-a Bor, sprovodila uzorkovanje zemljišta i analize rezultata za potrebe RBB-a Bor. Učestvovala je u više projekata kao glavni projektant za rekultivaciju degradiranih zemljišta pri eksploataciji mineralnih sirovina.

Stručni ispit iz oblasti vodoprivrednih melioracija položila je 29.11.2006. godine u Beogradu.

Član je Inženjerske komore Srbije i poseduje Licencu odgovornog projektanta poljoprivrednih projekata hidromelioracionih sistema od 23.08.2007. godine.

Autor je više naučnih radova i saopštenja u publikovanim nacionalnim i međunarodnim časopisima i simpozijumima.

Prilog 1.

Izjava o autorstvu

Potpisana: **Jasmina A. Lilić**

Broj indeksa ili prijave doktorske disertacije: **08/55**

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

“ Uticaj rekultivacije na karakteristike tehnosola rudnika bakra Bor ”

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena doktorska disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, 2. 7. 2015.

Potpis doktoranda

Lilić Jasmina

Prilog 2.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorske disertacije

Ime i prezime autora : **Jasmina A. Lilić**

Broj indeksa ili prijave doktorske disertacije: **08/55**

Studijski program : Poljoprivredne nauke

Modul: Melioracije zemljišta

Naslov doktorske disertacije:

“ Uticaj rekultivacije na karakteristike tehnosola rudnika bakra Bor ”

Mentor: prof. dr Nevenka Đurović

Potpisana: Jasmina A. Lilić

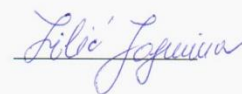
Izjavljujem da je štampana verzija moje doktorske disertacije istovetna elektronskoj verziji koju sam predala za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis doktoranda

U Beogradu, 2.7.2015.



Prilog 3.

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

“ Uticaj rekultivacije na karakteristike tehnosola rudnika bakra Bor”

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

U Beogradu, 2.7.2015.

Potpis doktoranda

