

UDK: 502.131.1:631.4(497.11 Timok)

Original scientific paper *Izvorni naučni rad*

REKULTIVACIJA ZEMLJIŠTA ZAGAĐENIH PIRITNOM JALOVINOM U INUNDACIJI TIMOKA I BORSKE REKE

Galić Zoran, Orlović Saša, Vasić Verica, Ivanišević Petar, Klašnja Bojana¹

Izvod: U radu su prikazani rezultati istraživanja mogućnosti rekultivacije zemljišta koje je prekriveno piritnom jalovinom u dolini reka Timok i Borska reka. Plodno poljoprivredno zemljište na površini od oko 3000 ha je prekriveno piritnom jalovinom usled oštećenja brane na deponiji piritne jalovine u rudniku bakra „Bor“ (Istočna Srbija). Na ovim površinama istražene su osnovne fizičke (granulometrijski sastav, teksturna klasa) i hemijske osobine piritne jalovine (reakcija zemljišnog rastvora, sadržaj humusa, karbonata), kao i mikrobiološka aktivnost istih.

Rezultati istraživanja upućuju na to da se uzgojem drvenstih vrsta na piritnoj jalovini omogućava kontrola piritne jalovine i sprečava migracija vetrom. Dalja istraživanja biće usmerena na proučavanje dinamike razvoja novonastalog ekosistema.

Ključne reči: *piritna jalovina, stanišni uslovi, rekultivacija*

RECLAMATION OF SOIL CONTAMINATED BY PYRITE TAILINGS IN THE BASIN TIMOK AND BOR RIVER

Abstract: *This paper presents the results of research into the possibility of reclamation of soils that is covered with pyrite tailings in the river valleys Timok and Bor river. Fertile agricultural land in an area of 3000 ha is covered with pyrite tailings dam due to damage on the landfill pyrite tailings in a copper mine "Bor" (Eastern Serbia). In these areas we examined the basic physical (particle size distribution, texture class) and chemical properties of pyrite tailings (reaction of the soil solution, humus, carbonates), and microbial activity.*

The results indicate that the establishing of plantation on pyrite tailings could control and prevent the migration of pyrite tailings. Further research will be focused on the study of the dynamics of development of the emerging ecosystem.

Key words: *pyrite tailings, site conditions, reclamation*

¹ Dr Galić Zoran, viši naučni saradnik, dr Orlović Saša, naučni savetnik, dr Vasić Verica, istraživač saradnik, dr Ivanišević Petar, naučni saradnik, dr Klašnja Bojana, naučni savetnik, Univerzitet u Novom Sadu, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Antona Čehova 13, 21000 Novi Sad

1. UVOD

Spoljni uticaji (bilo prirodnog ili antropogenog porekla) utiču na sastav, strukturu i funkcije ekoloških sistema. Od početka industrijalizacije antropogeni uticaj prouzrokuje velike promene, odnosno poremećaje, u odnosu na prirodne ekosisteme. Termin "poremećaj" se duže vremena koristi kod ekologa (White i Picket, 1985), budući da treba da opiše više ili manje ozbiljne promene ekoloških sistema zbog spoljašnjih uticaja. Veliki poremećaji dovode do potpunog uništenja originalnog ekološkog sistema, a mogu biti prirodni ili antropogenog porekla. Rudarstvo se može smatrati kao jedan od najčešćih uticaja antropogenog faktora na ekosisteme (Voker i Villig, 1999). Aktivnostima u rudarstvu se izazivaju veliki poremećaji ili čak uništavanje zemljišta i njihovih funkcija, a time i staništa (Schaaf et al., 2004, Shaaf i Huttel, 2005).

Odlagališta jalovine u rudarstvu predstavljaju pretnju zbog: (1) nestabilne prirode, (2) lokacije (često nalazi u blizini osetljivih vodenih ekosistema), (3) velikog broja (na desetine hiljada širom sveta), i (4) nemogućnosti održavanja, a naročito posle zatvaranja kopova (ICOLD, 2001).

U tokovima Borske reke i Timoka kolaps brane 1960. godine je doveo do oslobodanja toksične jalovine u obližnju Borsku reku, kao i deo toka reke Timok. Jalovinom je pokriveno oko 3 hiljade hektara obradive zemlje. Detaljna studija o incidentu (Antonijević, 1973; Antonijević, 1995; Martinović i Filipović, 1997; Milijić, 2000 i Marić, 2000) pokazuju stanje životne sredine posle incidenta, kao i aktivnosti u mogućnostima sanacije. Cilj ovog istraživanja je bio da se prouče svojstva oštećenih zemljišta sa aspekta mogućnosti podizanja stabilnih šumskih ekosistema, odnosno mogućnost remedijacije (biološke melioracije degradiranih zemljišta) i mikrobiološka aktivnost.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Istraživanja su obavljena na reci Timok i Borska reka (Istočna Srbija). Ogledi su osnovani na piritnoj jalovini sa izvršenom tehničkom rekultivacijom (I) i na čistoj piritnoj jalovini (II). Tehnička rekultivacija je obuhvatila uklanjanje piritne jalovine sa kontaminiranog zemljišta.

Na oglednim površinama sa izvedenom tehničkom rekultivacijom (I) analiza je izvršena za dve vrste drveća i to: bagrem i bela topola, dok su ogledni zasadi sa više drvenastih vrsta drveća izvedeni na čistoj piritnoj jalovini (II). Na čistoj piritnoj jalovini (II) korišćene su vrste: bela vrba (*Salix alba* L.), američka crna topola (*Populus deltoides* Marsh.), domaća crna topola (*Populus nigra* L.), bela topola (*Populus alba* L.), lužnjak (*Quercus robur* L.), sibirski brest (*Ulmus pumila* L.), poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl.), evodija (*Euodia hupehensis*), crni bor (*Pinus nigra* L.), beli bor (*Pinus sylvestris* L.) i bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.).

U ogledima na čistoj piritnoj jalovini je ispitivano više različitih tretmana i to sa ciljem popravke pre svega vodno-vazdušnih osobina zemljišta. Tretmani su bili čist pirit (1), pirit pomešan sa humusno akumulativnim horizontom okolnog šumskog zemljišta (2), pirit u kombinaciji sa humusno akumulativnim horizontom okolnog šumskog zemljišta i stajnjakom (3), pirit sa stajnjakom (4) i pirit sa krečom (5).

Fizička svojstva zemljišta određena su po sledećim metodama (Grupa autora, 1997): granulometrijski sastav (%) po međunarodnoj B-pipet metodi sa pripremom u natrijevom pirofosfatu, a za razvrstavanje čestica granulometrijskog sastava korišćena je klasifikacija Atteberga.

Hemijska svojstva određena su po sledećim metodama (Grupa autora, 1971): humus (%) po Tjurin-u u modifikaciji Simakov-a 1957; CaCO₃ (%) volumetrijski Scheibler-ovim kalcimetrom; pH u H₂O elektrometrijski sa kombinovanom elektrodom na Radiometar pH metru; sadržaj ugljenika, azota je određen na Elementarovom CHN analizatoru.

Brojnost pojedinih grupa mikroorganizama u zemljištu je određen po metodu Pochon i Tardieux, (1962).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM

Karakteristike zemljišta

Pre nanošenja piritne jalovine u poloju reka Timok i Borska reka zemljišta su korišćena u poljoprivrednoj proizvodnji, a svrstavana su u tip zemljišta - fluvisol. Osnovna karakteristika fizičkih osobina fluvisola u poloju reka Timok i Borska reka je bio «lak» teksturni sastav (pesak do peskovita ilovača).

Tabela 1. Granulometrijski i teksturni sastav zemljišta na lokalitetu sa izvedenom tehničkom rekultivacijom I

Table 1. Granulometric composition and soil texture on site I with technical recultivation

Horizont Horizon	Dubina Depth	Granulometrijski sastav % Granulometric composition %						Teksturna klasa Textural class
		> 0,2	0,2 - 0,02	0,02 - 0,002	< 0,002	Ukupno Total	Ukupno Total	
		mm	mm	mm	mm	> 0,02 mm	< 0,02 mm	
P	0-60	41,3	37,9	12,0	8,8	79,2	20,8	ilovasti pesak loamy sand
Ab	60-85	32,7	47,8	11,5	8,0	80,5	19,5	ilovasti pesak loamy sand
I	85-100	9,8	65,7	15,2	9,3	75,5	24,5	Pesk. ilovača sandy loam
II	100-120	26,7	51,4	14,4	7,5	78,1	21,9	ilovasti pesak loamy sand
Prosek/Average		27,6	50,7	13,3	8,4	78,3	21,7	

Posle nanošenja piritne jalovine na ova poljoprivredna zemljišta, napuštena je poljoprivredna proizvodnja i veliki deo površine je bez biljnog pokrivača. Prema Klasifikaciji zemljišta Jugoslavije (Škorić et al., 1985) istraživana zemljišta se sada svrstavaju u tip deposola. Fizičke osobine ovih deposola ukazuju na nepovoljne vodnovazdušne osobine (teksturna klasa u proseku ilovasti pesak sa visokim učešćem frakcije sitnog peska - tabela 1 i 2), a kao ograničavajući faktori se javljaju nejednaka dubina flotacijskog materijala i izražena kiselost (Marić, 2000).

Iz navedenog razloga su ova zemljišta sa malim vodnim kapacitetom i sa vrlo izraženim deficitom vode tokom vegetacionog perioda (Živanov i Ivanišević, 1986; Ivanišević et al., 1999; Galić et al., 2000; Galić et al., 2006), što je još više izraženo na čistoj piritnoj jalovini (Marić, 2000).

Tabela 2. Granulometrijski i teksturni sastav zemljišta na čistoj piritnoj jalovini II
Table 2. Granulometric composition and soil texture on site II with pirit

Horizont <i>Horizon</i>	Dubina <i>Depth</i>	Granulometrijski sastav % <i>Granulometric composition</i>						Teksturna klasa <i>Textural class</i>
		> 0,2	0,2 - 0,02	0,02 - 0,002	< 0,002	Ukupno <i>Total</i>	Ukupno <i>Total</i>	
		mm	mm	mm	mm	> 0,02 mm	< 0,02 mm	
P	0-80	0,5	84,8	11,8	2,9	85,3	14,7	ilovasti pesak <i>Loamy sand</i>

Nepovoljna stanišna svojstva su se na čistoj piritnoj jalovini pokušala ublažiti unošenjem humusnog sloja iz humusnoakumulativnog horizonta iz susedne sastojine *Querceto frainetto-cerris*. Teksturna klasa u humusnoakumulativnom horizontu je bila glinovita ilovača. Preovlađujuća frakcija je bila frakcija koloidne gline koja u zemljištu služi za vezivanje vode. Navedenim unošenjem humusnoakumulativnog horizonta su popravljene vodne osobine piritna i to u smislu veće mogućnosti skladištenja korisne vode. Međutim, kao što se vidi ni to nije bilo dovoljno budući da teksturna klasa glinovita ilovača ima nepovoljne vazdušne osobine odnosno smanjen je kapacitet za vazduh. Mešanjem teksturnih klasa pesak (pirit) i glinovita ilovača (humusnoakumulativni horizont iz šume sladuna i cera) omogućeni su povoljniji uslovi za rast drvenastih vrsta na površini sa čistom piritnom jalovinom.

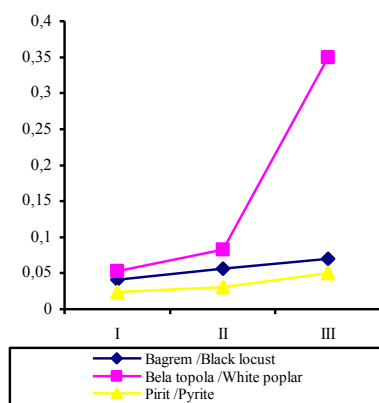
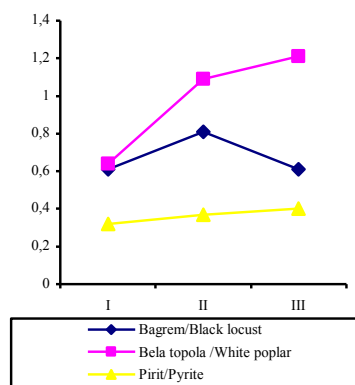
Deposol zemljište na piritnoj jalovini sa izvršenom tehničkom rekultivacijom I je imao neutralnu reakciju zemljišnog rastvora, mali sadržaj humusa i nizak sadržaj karbonata. Piritna jalovina je imala jako kiselu reakciju zemljišnog rastvora, mali sadržaj humusa i karbonata.

Tabela 3. Reakcija zemljišnog rastvora, sadržaj humusa i karbonata na ogleđnim površinama

Table 3. Contents of humus, CaCO_3 and pH

Horizont <i>Horizon</i>	Dubina <i>Depth</i>	pH	Humus	CaCO_3
Pirit sa izvršenom tehničkom rekultivacijom <i>Pyrite treated with technical recultivation</i>				
P	0-80	7,04	0,90	2,52
Ab	60-85	7,07	0,48	3,37
I	85-100	7,16	0,70	5,04
II	100-120	7,20	0,89	5,04
Čist pirit <i>Pyrite</i>				
P	0-80	2,56	0,48	2,49

Sadržaj elemenata u ekosistemima onečišćenim lignitom i piritom su pod znatnim uticajem pedohemijskih procesa izazvanih oksidacijom pirita (Gast et al., 2001). Na čistoj piritnoj jalovini je utvrđeno, da je u proleće manji sadržaj azota u zemljištu, nego u jesenjem periodu (Grafikon 1). Nasuprot tome na piritnoj jalovini sa izvršenom tehničkom rekultivacijom, u proleće druge godine, istraživanjima je utvrđen znatno veći sadržaj azota i ugljenika (Grafikon 2).

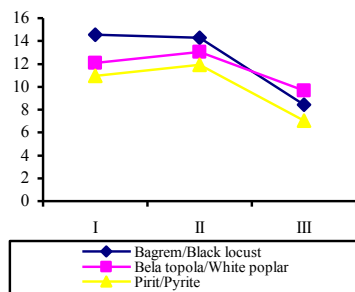
Grafikon 1. Dinamika azota u zemljištu
Graph 1. Nitrogen dynamics in soilGrafikon 2. Dinamika ugljenika u zemljištu
Graph 2. Carbon dynamics in soil

Sadržaj ugljenika na čistoj piritnoj jalovini je bio najveći u jesen. Dalje informacije o sadržaju ugljenika moguće je dobiti iz godišnjeg unosa mrtve organske materije u zemljište.

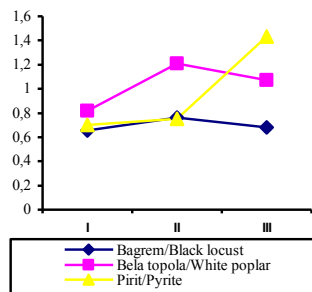
Odnos ugljenika i azota ukazuje na činjenicu da dolazi do mineralizacije organske materije na piritnoj jalovini sa tehničkom rekultivacijom I, te na čistoj

piritnoj jalovini II. Mineralizacija na čistoj piritnoj jalovini je posledica nedostatka organske materije.

Grafikon 3. Odnos ugljenika i azota
Graph 3. C/N ratio



Grafikon 4. Dinamika vodonika
Graph 4. Hydrogen dynamics in soil



Na čistoj piritnoj jalovini sadržaj vodonika ima tendenciju stalnog porasta, dok se u delu piritne jalovine sa izvršenom tehničkom rekultivacijom sadržaj vodonika neznatno menjao.

Mikrobiološka aktivnost

Na osnovu dobijenih podataka o brojnosti pojedinih grupa mikroorganizama u zemljištu može se videti da azotobakter nije bio zastupljen u ispitivanim uzorcima zemljišta.

Tabela 4. Brojnost pojedinih grupa mikroorganizama u zemljištu prolećni aspekt
Table 4. Abundance of microorganisms in soil – spring

	Prisustvo azotobaktera <i>Abundance of azotobacters</i> 10^1 ha^{-1}	Ukupan broj bakterija <i>Total number of bacteria</i> 10^6 ha^{-1}	Prisustvo aminoheterotrofa <i>Abundance of aminoheterotrophs</i> 10^6 ha^{-1}	Prisustvo aktinomiceta <i>Abundance of actinomycetes</i> 10^4 ha^{-1}	Prisustvo gljivica <i>Abundance of fungi</i> 10^4 ha^{-1}
Piritna jalovina sa izvršenom tehničkom rekultivacijom (I) <i>Pyrite treated with technical recultivation (I)</i>					
Bagrem <i>Black locust</i>	-	24.4362	24.4362	15.5503	-
Bela topola <i>White poplar</i>	-	12.8824	4.2941	19.3236	2.1470
Čista piritna jalovina (II) <i>Pyrite (II)</i>					
Pirit <i>Pyrite</i>	-	2.6972	-	-	-
Bela topola <i>White poplar</i>	-	-	6.6093	72.7032	-

Mikrobiološkom analizom zemljišta utvrđen je najveći broj bakterija u uzorku zemljišta na piritnoj jalovini sa izvršenom tehničkom rekultivacijom u delu sa bagremom i iznosio je $24,4471 \times 10^6$ po gramu zemljišta dok u uzorku na čistoj piritnoj jalovini nije utvrđeno prisustvo bakterija. U ostalim uzorcima broj bakterija se kretao u granicama od $14,5825 - 4,2950 \times 10^6$ po gramu zemljišta. U uzorku sa čistom piritnom jalovinom analizom zemljišta nije utvrđeno ni prisustvo gljiva. Ovi rezultati ukazuju na to da na čistoj piritnoj jalovini nije utvrđena mikrobiološka aktivnost u prolećnom aspektu.

Na čistoj piritnoj jalovini je utvrđena slaba mikrobiološka aktivnost i u jesenjem aspektu (Tabela 5).

Tabela 5. Brojnost pojedinih grupa mikroorganizama u zemljištu jesenji aspekt

Table 5. *Abundance of microorganisms in soil - autumn*

	Prisustvo azotobaktera <i>Abundance of azotobacters</i> 10^4 ha^{-1}	Ukupan broj bakterija <i>Total number of bacteria</i> 10^6 ha^{-1}	Prisustvo aminoheterotrofa <i>Abundance of aminoheterotrophs</i> 10^6 ha^{-1}	Prisustvo aktinomiceta <i>Abundance of actinomycetes</i> 10^4 ha^{-1}	Prisustvo gljivica <i>Abundance of fungi</i> 10^4 ha^{-1}
Piritna jalovina sa izvršenom tehničkom rekultivacijom I <i>Pyrite treated with technical recultivation (I)</i>					
Bagrem/Black locust	47.7949	28.2424	26.0699	110.7973	43.4499
Bela topola/White poplar	-	57.3328	38.9863	96.3193	34.3997
Čista piritna jalovina II <i>Pyrite (II)</i>					
Pirit	-	-	2.2087	-	-
Bela topola/White poplar	-	1391.7525	1386.0252	57.2737	54.4100

U jesenjem aspektu u odnosu na prolećni aspekt utvrđena je veća brojnost pojedinih grupa mikroorganizama i na čistoj piritnoj jalovini (II) i na piritnoj jalovini sa izvršenom tehničkom rekultivacijom (I). Navedena konstatacija se odnosi na prisustvo bakterija, aktinomiceta i aminoheterotrofa. Najveća razlika se ogleda između prolećnog i jesenjeg aspekta jer nije utvrđeno prisustvo gljivica u prolećnom aspektu. Razlika je vezana za čistu piritnu jalovinu jer prisustvo gljivica nije utvrđeno ni u jesenjem aspektu. U ostalim istraživanim uslovima prisustvo gljivica se kretalo od 34.39 do $54.41 \times 10^4 \text{ ha}^{-1}$. Sadržaj aktinomiceta u jesenjem aspektu je bio veći za delove sa bagremom i belom topolom na piritnoj jalovini sa izvršenom tehničkom rekultivacijom u prolećnom aspektu.

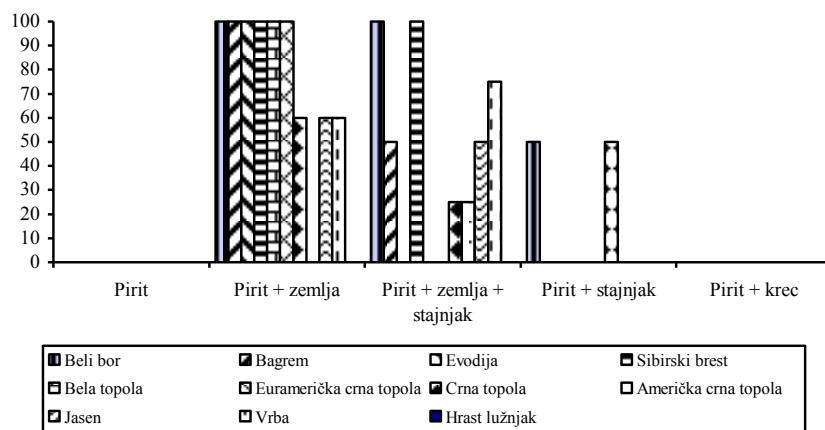
Preživljavanje sadnica na oglednim površinama

U poslednje vreme za istraživanja u "oštećenim ekosistemima" je preporučeno da se za početak uzima pozicija nula odnosno vreme nastanka onečišćenja (Huttl i Veber, 2001). Na primer, detaljna istraživanja floristički primarne sukcesije različitih ekosistema posle onečišćenja je istraživao Mueller-Dombois, (2000). Dugoročni razvoj zemljišta i ekosistema pod uslovima

onečišćenja piritnom jalovinom je slabo poznat (Gast et al., 2001). Sem toga, teško je predvideti vreme približavanja ekosistemskoj ravnoteži.

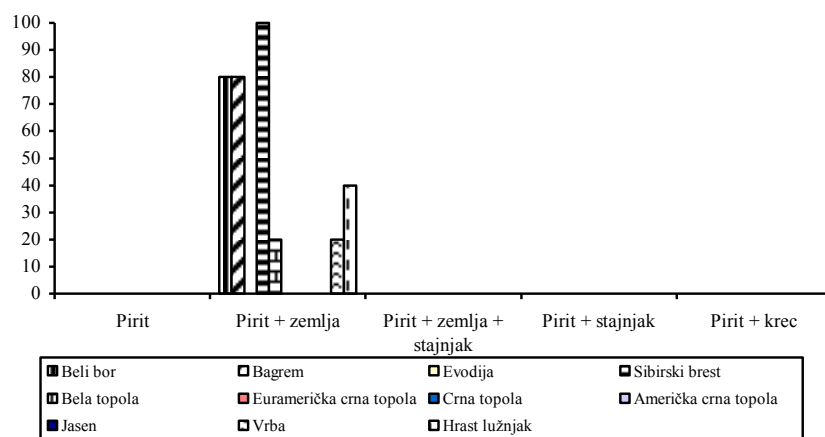
Grafikon 5. Procenat preživelih biljaka na čistom piritu posle prvog vegetacionog perioda

Graph 5. Percentage of survival plants after first year



Grafikon 6. Procenat preživelih biljaka na čistom piritu posle drugog vegetacionog perioda

Graph 6. Percentage of survival plants after second year



U proseku se najbolje pokazao tretman u kome je izvršena zamena zemljišta (Grafikon 1 i 2). U ovom tretmanu posle prvog vegetacionog perioda je opstao veći broj istraživanih vrsta dreća (beli bor, bagrem, evodija, sibirski brest,

bela topola i euramerička topola). Većina jalovina i piritišta u Nemačkoj je pošumljeno različitim vrstama borova (Gast et al., 2001). Međutim, kao što se vidi na kraju drugog vegetacionog perioda je utvrđeno da su na ove uslove staništa najbolje reagovali sibirski brest (100%), beli bor (80%) i bagrem (80%) (Grafikoni 5 i 6).

Izmena zemljišta je uslovila povoljnije uslove staništa i zbog toga je najveći uspeh utvrđen u ovom tretmanu. Slične podatke su dobili Legerwerff, (1967) i Marković et al., (1987), koji su utvrdili da bagrem uspeva sa primenom mera kalcifikacije i humizacije. Osim toga veći uspeh drvenstih vrsta kao što su: sibirski brest, beli bor i bagrem, može da se pripíše i bioekološkim karakteristikama ovih vrsta. Ove vrste su pionirske i kao takve tolerišu visok stepen suvoće.

Posebno se to uočava na piritnoj jalovini sa izvršenom tehničkom rekultivacijom. Na osnovu toga, pretpostavilo se, da će i u osnovanim ogledima najbolje rezultate dati topole i vrbe. Međutim mnogo veću vitalnost su pokazale druge vrste drveća i to sibirski brest, beli bor i bagrem. Na oglednoj površini na delu gde je izvršena tehnička rekultivacija piritne jalovine najveću vitalnost pokazali su bagrem i bela topola.

Uzgojem drvenstih vrsta na piritnoj jalovini omogućava se kontrola piritne jalovine i sprečava migracija iste. Daljim radom na problemu rekultivacije je potrebno izvršiti determinaciju obima i stepena oštećenja površina prekrivenih piritnom jalovinom sa mogućnošću pronalaženja bioloških metoda rekultivacije.

4. ZAKLJUČAK

Ovim radom je bilo obuhvaćeno proučavanje mogućnosti rekultivacije oštećenih zemljišta u inundaciji reka Timok i Borska reka. Zbog dejstva antropogenog faktora, na oba lokaliteta tip zemljišta je deposol sa izrazito nepovoljnim hemijskim i vodno-vazдушnim osobinama. Reakcija zemljišnog rastvora je na čistoj piritnoj jalovini bila 2,54. U delu sa izvršenom tehničkom rekultivacijom je utvrđena neutralna reakcija zemljišnog rastvora. Vodno-vazdušne osobine zemljišta su bile uslovljene visokim sadržajem frakcije ukupnog peska, koji se odlikuje visokim kapacitetom za vazduh (smanjena mogućnost skladištenja vode). Navedena osobina naročito dolazi do izražaja tokom letnjih meseci, s obzirom na smanjenu mogućnost skladištenja lakopristupačne vode.

Iz navednog razloga, na čistoj piritnoj jalovini, osnivanju ogleda, se pristupilo sa različitim tretmanima i to sa ciljem popravke, pre svega vodno-vazdušnih osobina zemljišta, a kao najbolji, se pokazao tretman, u kome je izvršena izmena zemljišta. Na ovoj oglednoj površini najboljerezultate je pokazao sibirski brest, beli bor i bagrem. Bela topola kao vrsta koja podnosi visok stepen suvoće, u ovim stanišnim uslovima se pokazala kao znatno slabija, u odnosu na staništa u kojima se prirodno obnavlja.

U cilju što bolje procene stanišnih uslova je izvršena i analiza mikrobiološke aktivnosti na istraživanim objektima. Na čistoj piritnoj jalovini nije utvrđena mikrobiološka aktivnost ni u jednom posmatranom vegetacionom aspektu.

Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta „Istraživanje klimatskih promena na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje“ (43007) koji finansira Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije u okviru programa Integrisanih i interdisciplinarnih istraživanja za period 2011-2014. godine.

5. LITERATURA

- Antonović G. (1973): Prilog proučavanju aluvijalnih nanosa oštećenih flotacionim materijalom poreklom iz Borskog rudnika. Arhiv za poljoprivredne nauke vol. XXVI sv. 94
- Antonijević, M., Dimitrijević M., Janković, Z., Vukanović B. (1995): Mogućnost zagađivanja zemljišta i voda usled oksidacije pirita. Zbornik radova „Naša ekološka istina“ str. 91-94. Borsko jezero
- Galić, Z., Ivanišević, P., Orlović, S., Klašnja B., Vasić, V. (2000): Application of multivariate analysis in the assessment of soil productivity – ecological categories for the cultivation of black poplars, Zemljište i biljka, Vol. 49, No. 3, 149-156
- Galić Z., Ivanišević P., Orlović S., Klašnja B., Vasić V., Pekeč S. (2006): Proizvodnost tri klona crne topole u branjenom delu aluvijalne ravni srednjeg Podunavlja. Topola 177/78 p. 62-71
- Grupa autora (1971): Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga I, JGPZ, Beograd
- Grupa autora (1997): Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta, Priručnik za ispitivanje zemljišta, JDPZ, str. 278, Novi Sad
- Gast, M., Shaaf W., Scherzer J., Wilden R., Schneider B., Huttl R. (2001): Elements budget of pine stands on lignite and pyrite containing mine soils. Journal of Geochemical Exploration 73 p.63-74
- Huttl, R.F., Weber, E. (2001): Forest ecosystem development in postmining landscapes: a case study of the Lusatian lignite district. Naturwissenschaften 88, 322–329.
- ICOLD (2001): Tailings dams – risk of dangerous occurrences, lessons learnt from practical experiences. International Commission on Large Dams, Bulletin (United Nations Environment Programme) no. 121. 144 pp.
- Ivanišević, P., Galić, Z., Rončević, S., Orlović, S., Macanović, M. (1999): Osobine zemljišta u zaštitnim šumama uz odbrambene nasipe u Vojvodini, Topola 163/164: 31-40

- Lagerwerff, I.V. (1967): Heavy metal contamination of soils. Publ. Am. Ass Advemt. Sci. No 85, p. 343-346
- Marić, M. (2000): Rekultivacija zemljišta oštećenog piritnom jalovinom. Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet – Bor. Magistraski rad. str. 1-95
- Marković, N., Stevanović, D., Miladinović, M. (1987): Uticaj aerozagađenja na kontaminaciju zemljišta u okolini Bora i način njihove rekultivacije. *Agrohemija*, No3, str. 233-241
- Martinović M., Filipović V. (1997): Rekultivacija starog flotacijskog jalovišta „Bor“. Zbornik radova „Naša ekološka istina“ str. 67-71, Donji Milanovac
- Milijić Z. (1997): Jalovišta rudnika bakra, njihov uticaj na životnu sredinu i metode rekultivacije. Zbornik radova „Naša ekološka istina“ str. 58-66, Donji Milanovac
- Mueller-Dombois, D. (2000): Rain forest establishment and succession in the Hawaiian Islands. *Landscape and Urban Planning* 51, 147–157.
- Pochon, J., Tardieux, P. (1962): *Techniques d'analyse en microbiologie du sol*, edit. de la Tourelle, Paris
- Schaaf W, Hüttl R (2005): Soil chemistry and tree nutrition of post-lignite-mining sites. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* vol 168 p. 483-488
- Schaaf, W., Gerke, H. H., Einecke, M., Wecker, B., Hüttl, R. F. (2004): Lokale Ungleichgewichte und damit verbundene bodenchemische und -hydrologische Prozessdynamik als Merkmale des Stoffhaushalts gestörter Standorte. *Cottbuser Schriften zu Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung* 2, 7–48.
- Walker, L. R., Willig, M. R. (1999): An introduction to terrestrial disturbance, in Walker, L. R. (ed.): *Ecosystems of disturbed grounds. Ecosystems of the world* 16, Elsevier, Amsterdam, pp. 1–16.
- Škorić, A., Filipovski G., Ćirić, M. (1985): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Odeljenje prirodnih i matematičkih nauka, Knjiga 13, Sarajevo.
- Walker, L.R., Willig, M.R. (1999): An introduction to terrestrial disturbances. In: Walker, L.R. (Ed.), *Ecosystems of disturbed ground, Ecosystems of the World* vol. 16. Elsevier, Amsterdam, pp. 1 – 16.
- White, P.S., Pickett, S.T.A. (1985): Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. In: Pickett, S.T.A., White, P.S. (Eds.), *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York, pp. 3 –16
- Živanov, N., Ivanišević, P. (1986): Zemljišta za uzgoj topola i vrba. In *Monograph "Poplars and willows in Yugoslavia*. p.p 103 - 120. Novi Sad

Summary

RECLAMATION OF SOIL CONTAMINATED BY PYRITE TAILINGS IN THE BASIN TIMOK AND BOR RIVER

by

Galić Zoran, Orlović Saša, Vasić Verica, Ivanišević Petar, Klačnja Bojana

This paper presents the results of research into the possibility of reclamation of soils that is covered with pyrite tailings in the river valleys Timok and Bor river. Fertile agricultural land in an area of 3000 ha is covered with pyrite tailings dam due to damage on the landfill pyrite tailings in a copper mine "Bor" (Eastern Serbia). In these areas we examined the basic physical (particle size distribution, texture class) and chemical properties of pyrite tailings (reaction of the soil solution, humus, carbonates), and microbial activity.

Trials were established on the pyrite tailings performed with technical reclamation (I) and on pyrite tailings (II). Chemical properties of pyrite tailings indicate extremely unfavorable chemical properties. The reaction of the soil solution was 2.54 (pH). The overwhelming fraction of the soil profile was the fine sand fraction (over 90%), resulting in an unfavorable texture class, with unfavorable characteristics of water holding. On the part of the completed technical reclamation (I) was determined neutral reaction of the soil solution.

*The best results in terms of survival shows Siberian elm (*Ulmus pumila* L.), black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).*

The results indicate that the establishing of plantation on pyrite tailings could control and prevent the migration of pyrite tailings. Further research will be focused on the study of the dynamics of development of the emerging ecosystem.