

**AKTUELNE MOGUĆNOSTI REKULTIVACIJE ŠLJAKIŠTA
TERMOELEKTRANE KORIŠTENJEM RUDARSKOG MINERALNOG
OTPADA**

**ACTUAL OPPORTUNITY OF THE RECULTIVATION OF SLAG
DUMPS OF POWER PLANT USING THE MINING MINERAL WASTE**

Dr.sci. Hajrudin Simičić dipl.ing.tehnolog.

Dr.sci. Vahida Selimbašić dipl.ing.zaštite na radu i životne okoline

JU Univerzitet u Tuzli

Tehnološki fakultet

Dr.sci. Senaid Salihović dipl.ing.geologije

JU Univerzitet u Tuzli

Rudarsko-geološki fakultet

Nusret Imamović, dipl.ing.mašinstva

Univerzitet u Zenici

Mašinski fakultet

REZIME

Bosna i Hercegovina raspolaže značajnim rezervama raznih sirovina, među kojima posebno mjesto zauzimaju ugalj, željezna ruda i boksit. U uslovima eksploatacije ovih sirovina dolazi do toga da se moraju skidati do različite dubine zemljišni i geološki slojevi dok se ne dođe do sirovine. Kao posljedica takvih aktivnosti na značajnom prostoru BiH došlo je do nastanka novih, specifičnih tvorevina koje se često nazivaju tehnogene pustinje koje samo na području BiH iznose preko 13.000 hektara i stalno su u porastu čime se na duži period isključuje upotreba zemljišta za poljoprivrednu proizvodnju što je njegova primarna funkcija.

U BiH se nalaze četiri termoelektrane: Tuzla, Kakanj, Ugljevik i Gacko. U radu ovih elektrane se stvaraju velike količine pepela i šljake (cca 10 % od količine sagorjelog uglja). Ovaj otpadni materijal se odlaže najčešće u prirodnim zemljanim uvalama sa velikim štetnim uticajima po okoliš. Pored toga što zauzimaju velike zemljišne površine, deponije šljake i pepela izazivaju zagađivanje zemljišta, površinskih i podzemnih voda jer sadrže razne toksične materije, teške metale, bor, mangan i druge koji se ispiru oborinama. Termoelektrana Tuzla za sada odlaže samo šljaku iz ložišta kotlova dok se lebdeći pepeo iz elektro precipitatora koristi u cijelosti u proizvodnji cementa. Šljaka od izgaranja uglja se kao vodena suspenzija transportuje do šljakišta Divkovići. U proizvodnji uglja na površinskom kopu Šikulje nastaje otpadni geološki materijal koji se odlaže na odlagalištima jalovine. Ovaj materijal može biti pogodan kao rekultivacioni sloj na šljakištu Termoelektrane.

Cilj rada je bio da se istraži mogućnost korištenja rudarskog mineralnog otpada sa ovog površinskog kopa u saniranju i rekultivaciji odlagališta šljake Termoelektrane čime se mogu ostvariti značajni

ekološki i ekonomski efekti i pomoći u vraćanju degradiranog poljoprivrednog zemljišta za njegovu primarnu funkciju.

Ključne riječi: rekultivacija, odlagalište šljake, rudarsko-mineralni otpad.

1. UVOD

Eksploatacija mineralnih sirovina na širem regionu Tuzle ima tradiciju više od 120 godina. Na osnovu rudnog blaga – uglja i soli, tokom proteklog perioda razvila se i industrija koja koristi i prerađuje postojeće mineralne sirovine. Rudnici "Kreka" u Tuzli čine ili su činili kompleks uglavnom površinskih kopova na širem području općina Tuzla, Lukavac i Živinice. Uz trenutnu proizvodnju oko 3 miliona tona uglja, odloži se na oko 10.000.000 tona jalovinskog materijala, uz stalni trend povećanja proizvodnje. Na površinskom kopu "Šićki brod" eksploatacija je završena i biološka rekultivacija je završena u procentu oko 60 %. Urađen je manji zasad jabuke, kruške i šljive, a jedan dio je ispod nivoa podzemne vode i pretvoren u kupališta za lokalno stanovništvo. Površinski kopovi "Dubrave" i "Šikulje" su u radu i rekultivacija na ovim deponijama nije ni počela. Na kopovima gdje je završena eksploatacija; "Moluhe" i "Huskići trenutno se vrši odlaganje komunalnog otpada, a jedan dio koristi preduzeće "Tuzlakvarc" za eksploataciju kvarcnog pijeska. Područje koje je zahvatala jama "Divkovići" koristi termoelektrana "Tuzla" za odlaganje kotlovske šljake i pepela. Termoelektrana godišnje odloži oko 1 milion kubnih metara šljake i pepela. U periodu 2002-2006. godine vršena su istraživanja jalovinskih materijala na području Tuzlanskog kantona, radi utvrđivanja karakteristika jalovinskih materijala. Naročita pažnja je posvećena površinskim kopovima "Dubrave" i "Šikulje" radi toga što bi se jalovinski materijal mogao upotrijebiti kao podloga za biološku rekultivaciju. Nakon detaljnog pregleda terena i uslova eksploatacije na pomenutim površinskim kopovima izvršena su uzorkovanja jalovinskog materijala direktno sa radne etaže, koja su podvrgnuta hemijskom, mineraloško-petrografskim i agropedološkim analizama s ciljem utvrđivanja karakteristika za biološku rekultivaciju. Uzorkovani su sedimenti iz otvorene etaže na površinskom kopu metodom mreže. Među uzorkovanim stijenama preovlađuju nevezani sedimenti. Kod analize sedimenata razmatran je hemijski i mineraloško-petrografski sastav, oblik i dimenzije zrna pod binokularom i kasnije sa polarizacionim mikroskopom. Kod nevezanih primijenjena je mehanička analiza. Korištena su standardna sita sa veličinom otvora od 2,0 mm pa do 0,06 mm, određivanje procentualnog učešća svake frakcije, grafički određena kumulativna kriva, a iz ove glavni granulometrijski parametri.

Cilj je bio da se odredi pogodan otpadni materijal sa površinskog kopa «Šikulje» i istraži mogućnost njegove primjene u saniranju i rekultivaciji odlagališta šljake Termoelektrane na lokalitetu Divkovići u neposrednoj blizini Termoelektrane Tuzla.

2. ANALIZA ISPITIVANIH UZORAKA

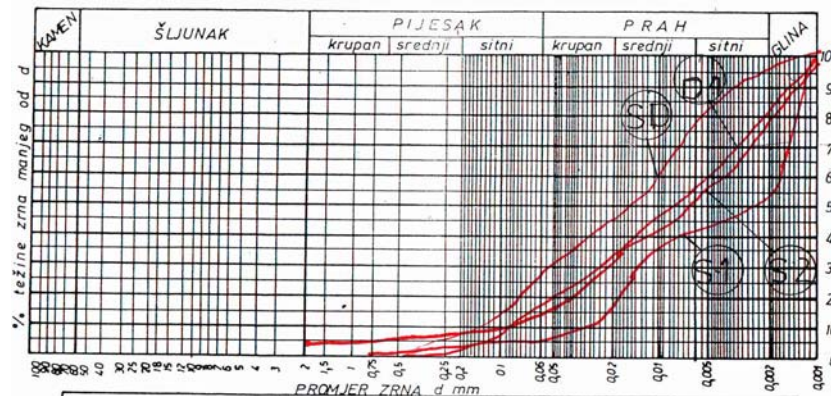
Uzorci pripadaju krovini glavnog ugljenog sloja. Uzet je jedan uzorak sa površinskog kopa "Dubrave" i dva uzorka sa površinskog kopa "Šikulje". Granulometrijske krive prikazane su u tabeli 1 i slici 1.

Iz priložene tabele 1. i slike 1. vidimo da su zastupljene čestice praha i gline sa manjim sadržajem pijeska. Koeficijent asimetrije (S_k) se kreće 1,4 do 4,6 iz čega se može zaključiti da preovlađuju sitnija zrna.

Tabela 1. Granulometrijski parametri uzoraka.

Oznaka	Q ₃	Q ₁	M _d	S ₀	S _k	P ₁₀	P ₉₀	K _q
SD	0,07	0,007	0,015	3,21	2,2	0,13	0,003	0,248
S-1	0,014	0,0013	0,002	3,28	4,6	0,22	0,002	0,029
S-2	0,035	0,0022	0,006	1,26	2,2	0,08	0,003	0,213
D-1	0,035	0,0025	0,008	3,74	1,4	0,09	0,0018	0,184
Parc. I	0,015	0,0015	0,004	3,21	1,4	0,04	0,0015	0,106
Parc. II	0,020	0,0017	0,004	3,43	2,1	0,06	0,0015	0,156
Parc. III	0,013	0,0018	0,003	2,68	2,6	0,065	0,0013	0,089
Parc. IV	0,035	0,0020	0,008	4,18	1,1	0,06	0,0014	0,281

(Oznaka uzoraka: SD-Šljaka Divkovići, S-1-PK Šikulje, S-2-PK Šikulje, D-1-PK Dubrave, Parc. I do IV, parcele na probnom zasadu)



Slika 1. Granulometrijske krive ispitivanih uzoraka (SD-kotlovska šljaka TE, D1-Dubrave, S1, S2 Šikulje)

Koeficijent sortiranosti (S_0) se kreće od 1,26 do 3,74 i prema TRASKU spada u vrlo loše sortirane sedimente. Kurtosis (K_q) – stepen zaoštrenosti se kreće od 0,029 do 0,213. Mineralni sastav rađen je na frakciji veličine preko 0,063 mm. Odabrani uzorci su kuhani u rastvoru $\text{SnO}_2 + \text{HCl}$ radi odstranjivanja glinovite komponente. Proučavanjem pomenutih pijeskova primjećuje se da je kvarc dominirajući mineral. Osim kvarca dosta čest je rožnjac, dok se feldspati i muskovit vrlo rijetko javljaju. Pored njih sporadično se pojavljuju neprovidni "opaki" minerali. Odvajanjem metodom teških tečnosti dobijeno je da učešće teških minerala iznosi 2,0 % u području PK "Dubrave" do 2,2 na PK "Šikulje". Od teških minerala najzastupljeniji je hromit oko 25 %, amfibol 10 do 15 %, limonit i hematit 15 do 20 %. Od ostalih teških minerala epidot i turmalin se javljaju u procentu nešto manjim od 10 %. Sporadično se javlja granat, cirkon rutil, pirokseni, biotiti andaluzit. Hromit kao najzastupljeniji mineral teške frakcije ima karakterističnu crnu boju i djelimično izražen poluškoljkast lom. Pojedini minerali imaju mrko-crvenu boju, primjetnu po obodu zrna. Zrna su nepravilnog oblika. Amfiboli se dosta često javljaju u nepravilnim zrnima, rjeđe prizmatična, sa naglašenim pleohroizmom. Limonit i hematit su takođe čest sastojak u teškoj frakciji. Nastali su kao produkti oksidacije primarnih minerala. Javljaju se u nepravilnim zrnima karakteristične crvenkaste boje po rubovima. Epidot i turmalin se dosta česti ružičasti do mrko-plavičasti sa nepravilnim formama. Granat se javlja u nepravilnim formama, bezbojan do zelenkast. Po svom obliku pojavljivanja odgovara piropu i almandinu. Nakon uvida u granulometrijski, hemijski i mineralni sastav postojećih sedimenta na prostoru na kojem je planirano da se radi ogledna parcela uzet je uzorak šljake iz kojeg je

urađena granulometrijska analiza (oznaka SD). Iz krivulje vidimo da se šljaka može definirati kao prašinasta sa dijelom pjeskovite i glinovite frakcije. Hemijska analiza daje slijedeće pokazatelje (tabela 2).

Tabela 2. Karakteristike kotlovske šljake sa deponije "Divkovići"

Komponenta	Sadržaj (%)
SiO ₂	44,62
Al ₂ O ₃	14,35
Fe ₂ O ₃	7,50
CaO	7,40
MgO	2,61
G.Ž.	9,46
SO ₃	0,42
P ₂ O ₅	3,40
K ₂ O	9,50
Na ₂ O	0,60
pH	7,4

Rendgenskim ispitivanjima kotlovske šljake konstatiran je sintetički kvarc, mulit, silimanit, albit i kalцит. Obzirom na način kako je nastala šljaka to su standardni minerali. Nakon ovih preliminarnih ispitivanja, izvršen je odabir prostora za oglednu parcelu na odlagalištu šljake "Divkovići". Ogledna parcela ima pravougaoni oblik dimenzija 77 x 27 metara. Na postojećoj lokaciji pripremljene su četiri parcele dimenzija 15 x 25 metara na koje je nasut materijal sa PK "Šikulje". Na tri parcele nasuto je 30 cm glinovito-pjeskovitog materijala, a na četvrtu je nasuto 30 cm šljunka kao kapilarna barijera i onda na šljunak 60 cm glinovito-pjeskovitog materijala. Na svakoj od parcela vršeno je zasađivanje biljnog materijala i to:

- Parcela I: Djetelina (Alfalfa).
- Parcela II: Engleska trava i bagrem (Grassland + Robinia)
- Parcela III: Engleska trava i djetelina (Grassland + Alfalfa)
- Parcela IV: Engleska trava (Grassland)

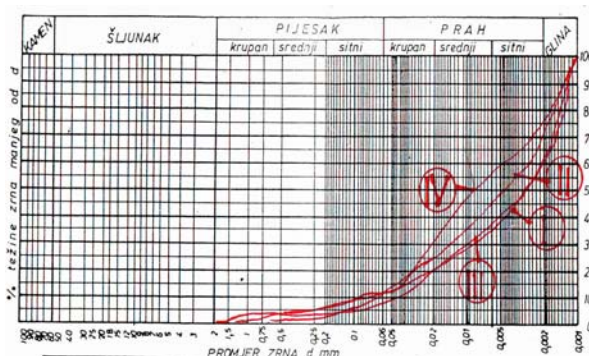
Na parceli III bagrem je posađen u kvadratnom rastojanju 1 x 1 metar. Zasiјavanje sjemenskog materijala izvršeno je krajem aprila 2006. godine. Tokom vegetativnog perioda vršen je stalni nadzor i snimanje napredovanja prirasta biljnog materijala, o čemu postoji fotodokumentacija koja je formirana u okviru projekta. Klimatski podaci uzeti su sa mjerne meteorološke stanice "Bukovčić" u Tuzli i oni iznose (tabela 3). Iz priložene tabele vidimo da je srednja temperatura 16,4⁰C. Maksimalna temperatura je 28,7⁰C izmjerena u julu, dok je minimalna 6,2⁰C, uz amplitudu od 22,5⁰C. Za isto vrijeme srednja vrijednost vlažnosti vazduha iznosila je 55 %, sa maksimalnom vrijednosti 100 % i minimumom 19 %, uz amplitudu 81 %.

Tabela 3. Meteorološki podaci sa mjerne stanice "Bukovčić" za period april-otobar 2006. godine

Mjesec	Temperatura (0 ⁰ C)				Vlažnost vazduha (%)			
	Sredina	Max.	Min.	Ampl.	Srednja	Max	Min.	Ampl.
April	11,7	17,6	6,2	11,4	75	100	19	81
Maj	14,9	21,5	8,7	12,8	72	99	55	44
Juni	18,1	24,0	12,8	11,3	76	99	28	71
Juli	21,4	28,7	15,0	13,7	69	97	26	71
Avgust	18,7	24,6	13,7	11,4	78	99	25	74
Septembar	16,9	24,1	11,3	12,8	78	99	30	69
Oktobar	12,9	20,8	6,9	13,8	77	100	24	76
	16,4	28,7	6,2	22,5	75	100	19	81

Upoređujući klimatske uslove tokom vegetativnog perioda vidimo da su biljke imale veoma dobre uslove za napredovanje tokom vegetativnog perioda. Nakon vegetativnog perioda uzeti su uzorci sa svake parcele, na kojima su vršena ispitivanja granulometrijskog sastava (slika 2). Iz priloženih granulometrijskih krivulja vidimo da su jako slične uzorcima koji su prethodno ispitani radi upoređivanja ranije uzorkovanog materijala sa površinskog kopa "Šikulje" i materijala koji je ugrađen u probnu parcelu.

Na osnovu dostavljenih uzoraka Federalni zavod za agropedologiju izvršio je ispitivanje plodnosti tla, sadržaj humusa, CaCO_3 i sadržaj fiziološki aktivnog P_2O_5 i K_2O , kao i sadržaj ukupnog oblika teških metala (Pb, Zn, Cd i Cu) ekstrakcijom sa HNO_3 1:3 na Atomskom apsorberu (AAS Perkin-Elmer). Na osnovu provedenih laboratorijskih analiza tla i biljnog materijala izvršena je klasifikacija na osnovu kontaminiranosti i to (tabela 4).



Slika 2. Granulometrijske krive materijala ugrađenih u probne parcele

Tabela 4. Vrijednosti pojedinih parametara na probnim parcelama

Uzorak	pH- vrijednost		Sadržaj humusa (%)	Sadržaj CaCO_3	Sadržaj fiziološki aktivnog	
	H_2O	KCl			P_2O_5	K_2O
Parcela I	7,95	7,05	1,60	7,26	2,3	11,7
Parcela II	8,02	7,12	1,10	5,90	1,7	10,6
Parcela III	7,86	6,98	1,50	9,84	2,7	11,2
Parcela IV	7,88	6,93	1,65	9,53	4,3	14,6

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da istražene parcele imaju osrednje zadovoljavajuće svojstva, s tim što je izražen nedostatak pristupačnog fosfora i slaba humoznost tla. Analizom sadržaja ukupnih oblika teških metala u uzorcima tla i biljnog materijala dobijene su slijedeće vrijednosti (tabela 5):

Iz priložene tabele može se vidjeti da utvrđene vrijednosti ukupnih oblika teških metala ne prelaze prag kontaminacije, što znači da ni tlo ni biljni materijal nisu kontaminirani teškim metalima.

Tabela 5. Sadržaj teških metala u probnim parcelama i biljnom materijalu

Oznaka uzorka	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Parcela I	37,9	35,6	0,1	30,2
Parcela II	28,8	34,2	0,1	28,0
Parcela III	42,7	37,7	0,1	30,5
Parcela IV	45,2	38,1	0,1	31,6
Trava	10,5	13,8	0,0	4,6
Trava i djetelina	13,6	18,6	0,0	7,6
Trava i bagrem	13,0	22,6	0,0	6,3
Djetelina	15,4	19,9	0,0	9,8
Djetelina s korijenom	19,9	16,7	0,0	9,0
Bagrem korijen	14,2	9,5	0,0	3,9
Bagrem stablo	10,5	8,7	0,0	3,5
Bagrem list	17,3	17,2	0,0	6,4

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih istraživanja vidimo da eksploatacija mineralnih sirovina pored ekonomskog prosperiteta i razvoja donosi i određene probleme koji prate rudarsku proizvodnju. Ispitivanjem jalovinskog materijala došlo se do egzaktnih podataka da isti može sa svojim karakteristikama biti dobra podloga za nasade voća, bagrema i djeteline. Engleska trava nije pokazala dobre karakteristike na šljačistu "Divkovići", jer je osjetljivija na klimatske promjene. Podloga od kotlovske šljake je porozna i u ljetnjem periodu kada vlada sušni period postoji mogućnost potpunog sušenja vlati, pa i korijena trave. Djetelina kao podloga pri biološkoj rekultivaciji ima puno bolje karakteristike, što se pokazalo i u probnoj parceli. Bagrem se pokazao kao najkvalitetniji materijal za biološku rekultivaciju. Bagrem je otporan na klimatske promjene, ima veliki drvenasti godišnji prirast. Osim toga u periodu slijedećih 3-5 godina prekriće čitavo područje, tako da će se spriječiti podizanje prašinate frakcije od kotlovske šljake tokom vjetrovitog vremena, koja sada predstavlja najveći problem okolnih naselja.

4. LITERATURA

- [1] Simičić H., Salihović S., Selimbašić V. 2005: Periodični izvještaji po projektu REINTRO. Tuzla.
- [2] Salihović S. Simičić H. Selimbašić V. 2006: Hemijska karakterizacija degradiranog tla na području Bosne i Hercegovine. VI Međunarodni simpozij "Metalni i nemetalni materijali" Zenica.
- [3] Glynn H.J., G.W. Heinke, Environmental Science and Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1989;
- [4] Sredojević J., Obrada i deponije otpada, Mašinski fakultet u Zenici, Univerzitet u Sarajevu, Zenica 2003.;
- [5] Spahić M., Osnove geoekologije, Harfo-Graf Tuzla, Tuzla 1999.;
- [6] Čustović H., Resulović, Pedologija, Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo 2000.