

Originalni naučni rad

UDK 631.438:539.163

DOI 10.7251/SVA2016285

COBISS.RS-ID 6172440

BIOLOŠKA REKULTIVACIJA RUDARSKOM AKTIVNOŠĆU DEGRADIRANIH ZEMLJIŠTA NA LOKACIJI SRĐEVIĆI – GACKO

Dr Željko Lakić

Dr Tihomir Pređić

JU Poljoprivredni institut Republike Srpske, Banja Luka, Republika
Srpska, BiH

Doc. dr Slobodanka Pavlović

Fakultet za ekologiju, Nezavisni univerzitet Banja Luka

Apstrakt: Istraživanja su obavljena na rudarski degradiranom zemljištu na lokalitetu Srđevići koje se nalazi u vlasništvu rudnika i termoelektrane Gacko, a trajala su od 2011-2013. godine. Ogled je postavljen na tri podloge: čisti laporac – kontrola; zemljište 40 cm - laporac 35 cm - šljunak 30 cm; zemljište 40 cm - laporac 35 cm - pepeo 40 cm. Za sjetvu su korišćene tri travno-leguminozne smješe i lucerka u čistoj kulturi. Tokom dvogodišnjih ispitivanja prečeni su sledeći parametri: hemijske osobine laporca prije i nakon završetka dvogodišnjih ispitivanja, hemijske osobine zemljišta i ostalih slojeva podloga, ukupan sadržaj mikroelemenata, trških metala i koncentracija polihloriranih bifenila (PCB) u laporcu i podlogama, pokrovnost zemljišta usjevom na kraju druge godine ispitivanja, botanička analiza zelene mase smješa na početku i kraju ispitivanja, prinos zelene mase po godinama i sadržaj mikroelemenata i teških metala u suvoj biljnoj masi.

Zemljište koje je korišćeno u rekultivaciji imalo je baznu reakciju. Analizom uzoraka laporca, zemljišta i drugih slojeva podloga, utvrđen je povećan sadržaj teških metala kadmijuma (Cd) i nikla (Ni), a konstatovane vrijednosti bile su iznad dozvoljenih graničnih vrijednosti za poljoprivredna zemljišta.

Tokom dvogodišnjih ispitivanja najbolja prosječna pokrovnost zemljišta bila je na podlogama koje su zasijane sa smješom I/G (lucerka 70%+ ježevica 30%). Na kontrolnoj podlozi (čisti laporac) najveći prosječan prinos zelene mase ostvaren je sa smješom IV/G (15,1 t/ha). Povećan sadržaj teških metala kadmijuma (Cd) i nikla (Ni), koji je utvrđen u zemljištu i ostalim slojevima podloga, nije se doveo do povećanja sadržaja ovih elemenata u biljnom materijalu ispitivanih biljnih vrsta.

Ključne riječi: *biološka rekultivacija, lucerka, travno-leguminozne smješe, podloga, laporac, pokrovnost, teški metali.*

UVOD

Štetan uticaj rudarskih aktivnosti na površinskim kopovima ogleda se u degradiranju ogromnih površina zemljišta, deponovanju velikih količina

čvrstog otpada i pojavi rudničkih voda. Naročito negativan efekat na životnu sredinu ima formiranje tehnogenih površina jalovinskog materijala (otkrivke) na spoljašnjim i unutrašnjim odlagalištima¹.

Pod pojmom rekultivacije podrazumjeva se kompleks rudarsko-tehničkih, inženjerskih, melioracionih, te poljoprivrednih i šumarskih radova koji se izvode u određenom vremenu. Ove aktivnosti usmjerene su prvenstveno na prevođenje degradiranih zemljišta u stanje pogodno za korišćenje u poljoprivredne i šumarske svrhe, ali i za druge namjene. Biološka rekultivacija je složen i dugotrajan proces, koji podrazumjeva primjenu niza neophodnih mjera koje treba da olakšaju i ubrzaju pedološke procese. Sprovođenje biološke rekultivacije zahtjeva prethodnu analizu postojećeg stanja na terenu i izvođenje po fazama, kao i naknadno praćenje procesa i stalne korekcije². Biološke mjere primenjuju se u završnoj fazi rekultivacije. Ove mjere podrazumjevaju primjenu poljoprivrednih i šumskih melioracija, koje doprinose stabilnosti i održavanju rekultivisanih površina, ali su mnogo značajnije sa aspekta revitalizacije prostora i uspostavljanja prirodnih biocenoza. Biološka rekultivacija podrazumeva sjetvu ratarskih kultura, te sadnju voćarskih kultura i pošumljavanje. Da bi se proces odvijao bržim tempom, neophodno je unijeti velike količine organskih i mineralnih materija kako bi se nadoknadio nedostatak osnovnih hranljivih elemenata, a naročito azota i fosfora. Prije nego što se pristupi izvođenju biološke rekultivacije, odnosno sjetvi travnjaka, potrebno je izvršiti pravilan izbor višegodišnjih trava, leguminoza ili smješa, koje odgovaraju za date uslove, područje, namjenu odnosno predviđeni način iskorišćavanja. Najčešće greške se prave prilikom izbora trava, leguminoza i smješa, jer se često pri zasnivanju travnjaka ne vodi računa o tome da li su one pogodne za određeni tip zemljišta. Zbog toga je neophodno da se prije započinjanja bilo kakve aktivnosti urade hemijske analize i utvrdi sadržaj mikroelemenata i teških metala u zemljištu. Visoka koncentracija teških metala smanjuje kvalitet zemljišta, narušava biološku ravnotežu i oštećujući sve ostale funkcije ekosistema³. Aktivnosti između mikroelemenata u različitim oblicima vezanih za zemljišne komponente, vremenom se mijenjaju usljed dejstva procesa pedogeneze. Prema Lu, 2005, joni mikroelemenata u zemljištu vezuju se za okside i hidrokside Fe, Mg i Al, glinene minerale i organsku materiju. U odnosu na zakonske normative pojedinih zemalja stepen ugroženosti određenog zemljišta nekim metalom iskazuje se indeksom zagađenja⁴.

¹ Malić N., Lakić Ž. (2011): Mogućnost gajenja visokog vijuka (*Festuca arundinaceae* Schreb.) u rekultivaciji stanarskih deposola. Agroznanje, vol. 12, 1, Banja Luka, 57-.65.

² Golubović Tatjana, Golubović Slobodan, Glišović Srđan (2015): Biološka rekultivacija deponije-primer dobre prakse. Zbornik radova „Zemljište 2015“, II savjetovanje sa međunarodnim učešćem i V konferencija sa međunarodnim učešćem „Remedijacija 2015“, Sremski Karlovci, 63-67.

³ Belanović i sar., 2012, Belanović et al., 2013.

⁴ Qingjie et al., 2008; Hu et al., 2013.

U prirodnim uslovima različite biljne vrste žive zajedno, a njihov opstanak u zajednici zavisi od njihove sposobnosti da se prilagode datim agroekološkim uslovima. Na prirodnim travnjacima gdje nema djelovanja čovjeka prilagodljivije vrste se šire, dok one koje su manje prilagodljive postepeno potpuno iščezavaju.

Na sijanim travnjacima zasnovanim sa smješama, čovjek diktira odnose višegodišnjih trava i leguminoza u smješi, i na taj način direktno, bar u početnoj fazi, utiče na njihov procentualni udio u biljnoj asocijaciji. Slično kao i u prirodi, poslije određenog vremena vrste slabije konkurentske sposobnosti se povlače, a ostaju adaptivnije vrste. Na konkurentsku sposobnost pojedinih vrsta trava i leguminoza može da utiče više faktora, a neki od njih su: starost sjemena, brzina klijanja i nicanja, brzina razvića u godini sjetve, način bokorenja kod višegodišnjih trava, dužna života vrsta, zahtjevi vrsta prema agroekološkim uslovima i dr. Istraživanja provedena u posljednjih dest godina, pokazala su da trvno-leguminozne smješe veoma dobro uspjavaju u našim agroekološkim uslovima, a naročito na zemljištima koja su manje povoljna za gajenje leguminoza⁵.

Cilj ovog rada je da se sjetvom leguminoza i travno-leguminoznih smješa utvrde mogućnosti za saniranje velikih trajno oštećenih zemljišnih površina na području odlagališta rudnika i termoelektrane Gacko. Sjetvom odgovarajućih poljoprivrednih kultura uz primjenu odgovarajuće agrotehnike, nastoji se iznaći najpovoljnije i najekonomičnije rješenje za prevođenje rudarski degradiranih zemljišta u stanje pogodno za korišćenje u poljoprivredne i šumarske svrhe, a u cilju revitalizacije prostor i uspostavljanje prirodnih biocenoza.

MATERIJAL I METOD RADA

Istraživanja su obavljena na rudarski degradiranom zemljištu na lokalitetu Srđevići koje se nalazi u vlasništvu rudnika i termoelektrane Gacko, a trajala su od 2011-2013. godine. Lokacija ogleda nalazi se na 949 m.n.v. Ogled je postavljen na tri podloge: čisti laporac – kontrola (podloga 0); zemljište 40 cm - laporac 35 cm - šljaka 30 cm (podloga I); zemljište 40 cm - laporac 35 cm - pepeo 40 cm (podloga II).

Površina podloge 0 iznosila je 242,5 m², podloge I 117 m² i podloge II 88,5 m². Veličina osnovne parcelice na podlozi 0 bila je 48,8 m², na podlozi I 35,4 m² i na podlozi II 17,7 m². Za ova ispitivanja korišćena je sledeća leguminoza i travno-leguminozne smješe: lucerka (100% čista kultura); smješa I/G (luceka 70%, ježevica 30%); smješa III/G (crvena djetelina 50%, italijanski ljulj 50%) i smješa IV/G (luceka 30%, visoki vijuk 40%, bezosi vlasen 15%, ježevica 15%). Za sjetvu su korišćene sljedeće količine sjemena: lucerke u čistoj kulturi (100%) 30 kg/ha sjemena; smješe I/G 32 kg/ha; smješe III/G 37,5 kg/ha i smješe IV/G 43,5 kg/ha.

Zemljište sa različitim podlogama, predviđeno za postavljanje ogleda, plitko je poorano krajem septembra. Nako toga izvršena je predsjetvena

⁵ Lakić i sar., 2008

priprema zemljišta za sjetvu frezanjem. Neposredno nakon freziranja uzeti su uzorci zemljišta sa svih podloga. Poslije freziranja po površini zemljišta rastureno je kompleksno mineralno đubrivo NPK 10:30:20 u količini od 500 kg/ha. Nakon rasturanja osnovnog đubriva izvršeno je drljanje lakom drljačom. Po završetku pripreme zemljišta za sjetvu pristupilo se konstrukciji ogleda na sve tri podloge, a nakon toga izrađena je precizna skica u koju su unijeti svi bitni podaci. Sjetva ogleda obavljena je ručno 3 i 4. oktobra 2011. godine. Na sve tri podloge zasijana je lucerka u čistoj kulturi i sve tri travno-leguminozne smješe. Po završetku sjetve sjeme je pokriveno drljanjem sa lakom drljačom, a nakon toga cjelokupna zasijana površina je povaljana.

Za prihranu usjeva korišćen je KAN 27%N u količini od 200 kg/ha u I otkosu, 150 kg/ha u II otkosu i 100 kg/ha u III otkosu. Prva prihrana obavljena je poslije kretanja vegetacije u prvom otkosu, a druga i treća petnaest dana poslije košenja prvog i drugog otkosa.

Tokom dvogodišnjih ispitivanja prećeni su sledeći parametri: hemijske osobine laporca prije i nakon završetka dvogodišnjih ispitivanja, hemijske osobine zemljišta i ostalih slojeva podloga, ukupan sadržaj mikroelemenata, trških metala i koncentracija polihloriranih bifenila (PCB) u laporcu i podlogama, pokrovnost zemljišta usjevom na kraju druge godine ispitivanja, botanička analiza zelene mase smješa na početku i kraju ispitivanja, prinos zelene mase po godinama i sadržaj mikroelemenata i teških metala u suvoj biljnoj masi.

Uzimanje uzoraka na čistom laporcu (kontroli), radi poređenja promjena osnovnih hemijskih osobina, obavljeno je prije zasnivanja usjeva u jesen 2011. godine i nakon skidanja III otkosa travno-leguminoznih smješa u 2013. godini. Uzorci su uzimani na dubini od 0-25 cm. Analize uzetih uzoraka su obavljene u laboratoriji za agrohemiju Poljoprivrednom institutu Republike Srpske u Banja Luci. Aktivna reakcija (pH u H₂O) i potencijalna reakcija zemljišta (pH u KCl) određene su elektrometrijski kombinovanim elektrodom na pH-metru. Količina humusa utvrđena je kolorimetrijskom metodom, u mokrospaljenom uzorku. Količina fiziološki aktivnog fosfora i kalijuma određena je amonijum-laktatnom (AL) metodom, uz očitavanje koncentracije fosfora na spektrofotometru i kalijuma na plamenfotometru. Uzorkovanje za analizu hemijskih osobina laporca i ukupnog sadržaj mikroelemenata, teških metala i PCB-a u laporcu rađeno je na dvije dubine: 0-60 cm i 60-120 cm. Uzorkovanje na podlogama I i II urađeno je na tri dubine, i to: od 0-40 cm, 40-75 cm i 75-115 cm. Na podlozi I uzorci su uzeti iz slojeva zemljišta, laporca i pepela, a na podlozi II iz zemljišta, laporca i šljake. Uzorci zemljišta sa svih podloga dostavljeni su u laboratoriju gdje su urađene hemijske katarakteristike slojeva.

U 2012. godini na svim podlogama ostvarena su po 2 otkosa zelene mase, a u 2013. godini 3 otkosa. Pri utvđivanju prinosa zelene mase, na svakoj podlozi košeno je 4 puta po 5 m², od svake leguminoze i travno-leguminozne smješe. Za analize hemijskog sastava suve materije uziman je

prosječan uzorak od svakog ponavljanja neposredno nakon košenja. Uzeti uzorci zelene mase su zatim osušeni.

U obje godine ispitivanja u zelenoj masi prvog otkosa urađena je analiza sastava biljne mase. Analiza biljne mase zasijanih travno-leguminoznih smješa vršena je na biljne vrste iz smješa i druge biljne vrste koje nisu zasijane. Tokom ispitivanja utvrđena je pokrovnost zemljišta usjevom, odnosno gustina usjeva. Takođe, u suvoj masi prvog otkosa u 2012. i 2013. godini utvrđen je sadržaj mikroelemenata i teških metala.

Rezultati prinosa zelene mase obrađeni analizom varijanse (ANOVA), a značajnost razlika između srednjih vrednosti utvrđena je *LSD*-testom.

REZULTATI RADA I DISKUSIJA

Hemijskih osobina laporca

Kako bi se pratile promjene u hemijskim osobinama laporca neposredno prije postavljanja ogleđa i nakon završetka dvogodišnjih ispitivanja uzeti su uzorci. Rezultati ispitivanja osnovnih hemijskih osobina prosječnog uzorka laporca prije zasnivanja usjeva 2011. godine i nakon III otkosa travno-leguminoznih smješa u 2013. godine prikazani su u tabeli 1.

Sloj laporca uzet 2011. godine neposredno pred postavljanje ogleđa imao je baznu reakciju i nizak sadržaj osnovnih hranjivih elemenata. Rezultati ispitivanja ukazuju na to da se na čistom laporcu se bez primjene odgovarajuće agrotehnikе ne može očekivati uspješno zasnivanje usjeva travno-leguminoznih smješa i lucerke. Takođe, zbog bazne reakcije mogu se očekivati poremećaji u ishrani biljaka, te zbog toga fosforna đubriva treba primjenjivati neposredno pred sjetvu.

Tabela 1. Rezultati hemijske analize prosječnog uzorka laporca prije zasnivanja ogleđe i nakon završetka dvogodišnjih ispitivanja

Godina	Dubina (cm)	pH		%			mg/100g	
		H ₂ O	KCl	Humus	N	CaCO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
2011.	0-25	8,4	8,3	-	0,01	98,3	1,1	1,3
2013.	0-25	8,3	8,1	-	0,02	98,0	3,0	5,4

U uzorcima laporca uzetim na kraju ispitivanja pH je neznatno niži, ali je i dalje zemljište bazne reakcije. Sadržaj humusa ostao je nepromjenjen što je bilo i za očekivati. Najznačajnije razlike su se odgodile u promjeni sadržaja lako pristupačnog fosfora i kalijuma. Prije postavljanja ogleđa i primjene mineralnih đubriva sadržaj P₂O₅ iznosio je 1,1 mg/100g, a K₂O 5,4 mg/100g zemljišta, što znači da je sadržaj bio jako nizak. Nakon dvogodišnjih ispitivanja sadržaj lako pristupačnog fosfora i kalijuma i dalje je bio jako nizak, ali se njihov sadržaj u laporcu znatno povećao. Sadržaj fosfora se povećao za 2,7 puta i iznosio je 3,0 mg/100g zemljišta, a sadržaj kalijuma je porastao za četiri puta i iznosio je 5,4 mg/100g zemljišta.

U uzetim uzorcima laporca ispitan je i sadržaj mikroelemenata, teških metala i PCB-a. Uzorci su uzeti dvije dubine, a rezultati ovih ispitivanja prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Ukupan sadržaj mikroelemenata, teških metala i PCB u laporcima

Dubina (cm)	%		mg/kg								Suma PCB* mg/kg
	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	As	Hg	
0 – 60	0,01	0,1	5,4	5,7	7,3	5,1	21	30	0,4	<0,1	<0,1
60-120	0,01	0,2	7,3	9,1	8,8	6,2	27	35	0,7	<0,1	<0,1

*Suma: PCB 28; PCB 52; PCB 101; PCB 138; PCB 153; PCB 180;

Ukupan sadržaj mikroelemenata Mn i Fe u laporcima nalazio se u dozvoljenim granicama. Dozvoljene koncentracije Mn u zemljištu kreću se od 0,02 – 1%, a Fe od 0,5 do 4%. Sadržaj ispitivanih teških metala, osim kadmijuma (Cd), bio je ispod granične vrijednosti koja je dozvoljena u poljoprivrednom zemljištu. Sadržaj kadmijuma (Cd) u laporcima bio je znatno viši od granične vrijednosti i iznosio je u sloju od 0-60 cm 5,1 mg/kg, a u sloju od 60-120 cm 6,2 mg/kg. Na poljoprivrednim zemljištima granična vrijednost za kadmijum je 1,5 mg/kg. Koncentracija polihloriranih bifenila (PCB) je takođe ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija u poljoprivrednim zemljištima.

Hemijske karakteristike slojeva podloge I

Zemljište 40 cm - laporac 35 cm – pepeo 40 cm - Podloga I sastojala se od tri sloja, i to: zemljišta, laporca i pepela. Sloj zemljišta iznosio je 40 cm. Rezultati hemijske analize podloge I po slojevima prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Hemijske osobine slojeva zemljišta, laporca i pepela koji čine podlogu I

Sloj	Dubina (cm)	pH		%			mg/100g	
		H ₂ O	KCl	Humus	N	CaCO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Zemljište	0 – 40	7,90	7,35	1,49	0,08	16,0	2,6	10,0
Laporac	40 - 75	8,42	8,32	-	0,01	98,10	1,1	1,5
Pepeo	75-115	12,40	-	-	0,01	27,0	5,6	14,1

U pogledu pH, zemljište (0-40 cm) je alkalne reakcije, a po sadržaju humusa spada u zemljišta sa niskim sadržajem humusa (1,49%). Obezbeđenost lako pristupačnim fosforom je jako niska (2,6 mg/100g), dok je prisustvo kalijuma u zemljištu nisko i iznosi 10,0 mg/100g K₂O. Sloj laporca koji se nalazi na dubini od 40-75 cm je takođe alkalne

reakcije. U ovom sloju nema humusa, a sadržaj lakopr istupačnog fosfora i kalijuma je jako nizak. Sloj pepela koji se nalazi na dubini 75-115 cm ima visok pH. U sloju pepela takođe nema humusa, sadržaj lakopr istupačnog fosfora je nizak, dok je sadržaj kalijuma osrednji (14,1 mg/100g)

U tabeli 4. prikazani su rezultati sadržaja mikroelemenata, teških metala i PCB po slojevima u podlozi I.

Sadržaj mikroelemenata Mn i Fe, u sva tri sloja podloge I, nalazi se u okviru dozvoljenih vrijednosti. U sva tri sloja ukupan sadržaj trških metala Zn, Cu, Pb, As i Hg bio je ispod dozvoljenih graničnih vrijednosti za poljoprivredno zemljište.

Tabela 4. Ukupan sadržaj mikroelemenata, teških metala i PCB u slojevima podloge I

Sloj	%		mg/kg							Suma PCB* mg/kg	
	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	As		Hg
Zemlja	0,12	1,6	70	36	19	1,9	111	80	5,5	<0,1	<0,1
Lapor.	0,01	0,2	3	7	6	5,0	21	33	0,3	<0,1	<0,1
Pepco	0,02	1,2	118	22	36	7,8	75	63	4,2	<0,1	<0,1

*Suma: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153 i PCB 180

Sadržaj hroma (Cr) u sloju zemljišta imao je maksimalnu dozvoljenu vrijednost za praškasto-ilovasta zemljišta. Sadržaj kadmijuma u sva tri sloja bio je znatno viši od granične vrijednosti. Takođe, znatno viši sadržaj nikla (Ni) utvrđen je u sloju zemljišta (111 mg/kg) i sloju pepela (75 mg/kg). Ukupna koncentracija polihloriranih bifenila - PCB u podlozi I je ispod maksimalno dozvoljene koncentracije u poljoprivrednim zemljištima.

Zemljište 40 cm - laporac 35 cm – šljaka 30 cm - Rezultati hemijske analize slojeva podloge II prikazani su u tabeli 5. Podloga II sastoji se od sledećih slojeva: zemljište 40 cm, laporac 35 cm i šljaka 30 cm

Sloj zemljišta alkalne je reakcije i ima nizak sadržaj humusa. Sadržaj lakopr istupačnog fosfora jako je nizak, dok je sadržaj kalijuma nizak. Sloj laporca koji se nalazi na dubini od 40-75 cm je alkalne reakcije, i u njemu neme humusa.

Tabela 5. Hemijske osobine slojeva zemljišta, laporca i šljake koji čine podlogu II

Sloj	Dubina (cm)	pH		%			mg/100g	
		H ₂ O	KCl	Humus	N	CaCO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Zemljište	0 – 40	7,81	7,20	1,37	0,07	16,0	2,68	10,8
Laporac	40 - 75	8,30	8,25	-	0,01	98,0	2,23	7,56
Šljaka	75-115	12,25	-	-	0,01	23,0	17,7	19,00

Sadržaj lakopr istupačnog fosfora i kalijuma u ovom sloju je jako nizak. Šljaka se nalazi u trećem sloju na dubini od 75-115 cm. Ovaj sloj ima

takođe alkalnu reakciju. Sadržaj lakopristupačnog fosfora (17,7 mg/100g) je dobar, dok je sadržaj lakopristupačnog kalijuma osrednji.

Rezultati sadržaja mikroelemenata, teških metala i PCB po slojevima u podlozi I prikazani su u tabeli 6.

Tabela 6. Ukupan sadržaj mikroelemenata, teških metala i PCB u slojevima podloge II

Sloj	%		mg/kg								Suma PCB*
	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	As	Hg	mg/kg
Zemlja	0,13	1,8	85	21	23	2,0	107	72	3,5	<0,1	<0,1
Lapor.	0,01	0,1	3	5	8	4,2	17	35	0,7	<0,1	<0,1
Šljaka	0,01	0,9	33	17	19	5,5	47	39	3,2	0,01	<0,1

*Suma: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153 i PCB 180

U sva tri sloja podloge II sadržaj mikroelemenata Mn i Fe i ukupan sadržaj trških metala Zn, Cu, Pb, Cr, As i Hg bio je ispod dozvoljenih graničnih vrijednosti za poljoprivredno zemljište. Sadržaj kadmijuma u sva tri sloja podloge II bio je viši od granične vrijednosti. U sloju zemljišta od 0-40 cm utvrđen je znatno viši sadržaj Ni (111 mg/kg) u odnosu na granične vrijednosti za poljoprivredno zemljište. U podlozi II ukupna koncentracija polihloriranih bifenila - PCB bila je ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija u poljoprivrednim zemljištima⁶.

Nachtegaal and Sparks (2004) navode da Fe pored korelacije sa Cr i Ni ima signifikantnu zavisnost sa Zn, Cu i Pb. Ove zavisnosti mogu se objasniti činjenicom da se oksidi gvožđa vezuju sa Cu, Zn i Pb

Belanović Simić i sar. (2015) su tokom svojih istraživanja utvrdili sadržaj ukupnog Zn u proučavanim zemljištima od 35,6 - 174,6 mg/kg, a sadržaj ukupnog Cu od 11,4 - 141,7 mg/kg. Isti autori navode da je sadržaj ukupnog Cd u ispitivanim zemljištima bio do 0,32 mg/kg, a sadržaj ukupnog Pb je u rasponu od 7,7 - 29,4 mg/kg, tako da su koncentracije oba elementa niže od graničnih vrednosti za poljoprivredne kulture. Rezultati naših ispitivanja sadržaja Zn i Cu saglasni su rezultatima neavedenih autora. Takođe, rezultati naših ispitivanja ukazuju da je sadržaj Cd u laporcu, zemljištu i ostalim slojevima podloga bio viši od graničnih vrijednosti navedenih autora, dok je sadržaj Pb bio jedino veći u podlozi I u sloju pepela (39 mg/kg).

Tokom ispitivanja zemljišta na području opštine Pančevo izmjerene ukupne vrijednosti Fe bile su u granicama od 1,4 do 5,1%. Sadržaj ukupnog Cr bio je od 13,2 - 63,9 mg/kg, a sadržaj ukupnog Ni kretao se u

⁶ Pravilnik Republike Srpske, 2016

opsegu od 14,1 - 51,4 mg/kg (Belanović Simić i sar., 2015). Naši rezultati ispitivanja saglasni su u pogledu sadržaja Fe. U zemljištu koje je korišćeno za rekultivaciju sadržaj Cr bio je viši, dok je sadržaj Ni bio veći od graničnih vrijednosti. U čistom laporcu sadržaj Ni bio je u okviru graničnih vrijednosti za poljoprivredne kulture.

Pokrovnost zemljišta

Da bi se ispitala pogodnost gajenja lucerke i travno-leguminoznih smješa na pojedinim pologama, nakon kosidbe III otkosa u 2013. godini utvrđena je pokrovnost zemljišta usjevom. Rezultati utvrđene pokrovnosti prikazani su u tabeli 7

Tabela 7. Pokrovnost zemljišta usjevom nakon skidanja III otkosa lucerke i travno-leguminoznih smješa na različitim podlogama

Podloge	Pokrovnost – gustina usjeva (%)			
	Lucerka	Smješa I/G	Smješa III/G	Smješa IV/G
0	91,08	92,88	46,76	93,76
I	86,98	93,79	44,27	94,18
II	96,87	95,04	43,30	90,26
Prosjeck	91,64	93,90	44,78	92,73

Na kontrolnoj podlozi i podlozi I najbolja pokrovnost ostvarena je sa smješom IV/G. Na podlozi II najveću pokrovnost zemljišta imala je salucerka u čistoj sjetvi (96,87%). Na svim podlogama najslabija pokrovnost bila je ostvarena sa smješom III/G. Tokom ovih ispitivanja prosječno najbolji rezultat ostvaren je sa smješom I/G (93,60%).

Analiza biljne mase travno-leguminoznih smješa

Analiza sastava biljne mase I otkosa smješa u 2012. godini - Razdvajanje biljne mase na komponente ukazuje na sposobnost vrsta u smješi, koje imaju različita indekse kompeticije, da u datim ekološkim uslovima potiskuju druge biljne vrste koje nisu zasijane. Nakon kosidbe prvog otkosa zelene mase u 2012. g izvršena je analiza biljne mase travno-leguminoznih smješa sa svih podloga, rezultati analize prikazani su u tab.8.

Rezultati analize zelene mase travno-leguminoznih smješa sa kontrolne podloge ukazuju da su smješe III/G i I/G imale od 1,1% do 2,9% učešće drugih biljnih vrsta u zelenoj masi. To je veoma nizak sadržaj za prvi otkos u godini sjetve. Nasuprot ovim rezultatima smješa IV/G je na kontrolnoj podlozi imala 71,5% učešće drugih biljnih vrsta u zelenoj masi.

Tabela 8. Zastupljenost (%) leguminoza i trava u zelenoj masi travno-leguminoznih smješa na različitim podlogama u I otkosu 2012. godine

Podloga	Travno-leguminozna smješa		
	I/G	III/G	IV/G
Podloga II	Lucerka 20,5% Ježevica 29,1% Druge biljne vrste	Crvena djetelina 0% Italijanski ljulj 97,4% Druge biljne vrste 2,6%	Lucerka 59,8% Visoki vijuk 2,3% Bezosi vlasen 4,2%

	50,4%		Ježevica 13,1 Druge biljne vrste 20,6%
Podloga I	Luceka 22% Ježevica 31% Druge biljne vrste 47%	Crvena djetelina 0% Italijanski ljulj 97,1% Druge biljne vrste 2,9%	Luceka 28,7% Visoki vijuk 39,7% Bezosi vlasen 10,1% Ježevica 1,9% Druge biljne vrste 19,6%
Podloga 0	Luceka 0,5% Ježevica 96,6% Druge biljne vrste 2,9%	Crvena djetelina 0% Italijanski ljulj 98,9% Druge biljne vrste 1,1%	Luceka 15,7% Visoki vijuk 9,9% Bezosi vlasen 1,1 % Ježevica 1,8% Druge biljne vrste 71,5%

Na podlogama I i II smješa III/G je takođe imala nisku zastupljenost drugih biljnih vrsta u zelenoj masi. Kod ostalih smješa koje su zasijane na podlogama I i II učešće drugih biljnih vrsta variralo je od 19,6% (smješa IV/G – podloga I) do 50,4% (smješa I/G- podloga II).

Analiza sastava biljne mase III otkosa 2013. godine - Da bi se mogao steći uvid u zastupljenost pojedinih komponenti u travno-leguminoznim smješama tokom trajanja dvogodišnjih istraživanja, izvršena je analiza sastava zelene mase III otkosa u 2013. godini. Rezultati analize sastava zelene mase travno-leguminoznih smješa prikazani su u tabeli 9.

Tabela 9. Zastupljenost (%) leguminoza i trava u zelenoj masi III otkosa travno-leguminoznih smješa na različitim podlogama u III otkosu 2013. g.

Podloga	Travno-leguminozna smješa		
	I/G	III/G	IV/G
Podloga II	Luceka 44,1% Ježevica 55,5% Druge biljne vrste 0,4%	Crv. djet. 53,8% Ital. ljulj 41,3% Druge biljne vrste 4,9%	Luceka 70,4% Visoki vijuk 1,8% Bez. vlasen 0,6% Ježevica 26,8 % Druge biljne vrste 0,4%
Podloga I	Luceka 2,5% Ježevica 97,2% Druge biljne vrste 0,3%	Crv. djet. 17,8% Ital. ljulj 80,9% Druge biljne vrste 1,3%	Luceka 21,1% Visoki vijuk 2,2% Bez. vlasen 0,4% Ježevica 75,2% Druge biljne vrste 1,1%
Podloga 0	Luceka 8,9% Ježevica 90,4% Druge biljne vrste 0,7%	Crv. djet. 70,7% Ital. ljulj 27,7% Druge biljne vrste 1,6%	Luceka 8,9% Visoki vijuk 1,3% Bez. i vlasen 0 % Ježevica 89,1% Druge biljne vrste 0,7%

Na svim podlogama učešće drugih biljnih vrsta u zelenoj masi, kod svih smješa, bilo je nisko. Zastupljenost drugih biljnih vrsta kod ispitivanih smješa bilo je od 0,3% (smješa I/G- podloga I) do 4,9% (smješa III/G - podloga II). Takođe, treba napomenuti da je u III otkosu 2013. g. utvrđeno značajno prisustvo leguminoza u svim smješama. Učešće leguminoza variralo je od 8,9% (smješa I/G i IV/G) do 70,4% (smješa IV/G).

Prosječan dvogodišnji prinos zelene mase

Rezultati dvogodišnjih istraživanja prinosa zelene mase lucerke u čistoj kulturi i travno-leguminoznih smješu prikazani su u tabeli 10. Tokom dvogodišnjih ispitivanja najviši prosječni prinosi zelene mase postignuti su sa smješom I/G na podlozi I (20,9t/ha), a najniži sa lucerkom u čistoj kulturi na podlozi 0 (10,8 tha)

U godini sjetve (2012) prinosi smješa na kontrolnoj podlozi bili su niski, izuzev prinosa koji su ostvareni sa smješom III/G. Na podlogama I i II u godini sjetve najviše prinose ostvarila je smješa III/G.

Tabela 10. Prinos zelene mase lucerke i smješa na različitim podlogama u 2012. i 2013. godini

Vrsta/smješe	Godina						Prosjek		
	2012.			2013.					
	Podloga			Podloga			Podloga		
	0	I	II	0	I	II	0	I	II
Lucerka 100%	0,5	2,9	1,1	21,0	25,9	29,1	10,8	14,4	15,1
Smješa I/G	0,7	2,6	1,9	23,3	39,2	32,2	12,0	20,9	17,1
Smješa III/G	6,1	8,5	8,1	21,2	24,2	25,7	13,7	16,4	16,9
Smješa IV/G	0,7	4,5	2,5	25,8	32,4	35,4	13,3	18,5	18,9
Prosjek	2,0	4,6	3,4	22,8	30,4	30,6	12,4	17,5	17,0

LSD	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
0,05	0,4	0,6	0,5	0,8	0,7	1,0	1,4
0,01	0,5	0,8	0,6	1,1	0,9	1,3	1,8

U 2013. godini sa lucerkom i travno-leguminoznim smješama, na svim podlogama, ostvareni su znatno viši prinosi zelene mase. Tokom ovih ispitivanja posebno se izdvojila smješa IV/G koja je na kontrolnoj podlozi (čisti laporac) ostvarila prinos od 25,8 t/ha zelene mase. Na istoj podlozi visok prinos zelene mase ostvaren je i sa smješom I/G.

Testiranja rezultata prosječnih prinosa zelene mase lucerke u čistoj kulturi i travno-leguminoznih smješa ukazuje da su vrsta odnosno smješa i podloga imali statistički visoko značajan uticaj na iskazane razlike u prinosu. Razlike u prinosu zelene mase između ispitivanih smješa i lucerke u čistoj kulturi u potpunosti su iskazane tokom obje godine ispitivanja. Analiza varijanse prinosa zelene mase ispitivanih smješa i lucerke ukazuje na postojanje značajnih interakcijskih efekata.

Hemijske analize biljnog materijala

Nakon kosidbe prvog otkosa u biljnom materijalu utvrđen je sadržaj mikroelemenata željeza, mangana i teških metala cinka, bakra, olova, kadmijuma, nikla, arsena i žive. U tabeli 11. prikazani su rezultati analize biljne mase I otkosa u godini sjetve.

Tabela 11. Rezultati hemijskih analiza biljne materije lucerke i travno-leguminoznih smješa I otkos u 2012. godini

Podloga	Leguminoza/ smješa	mg/kg								
		Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	As	Hg
Podloga 0	Smješa I/G	138	27	21	2	8	0,25	3,1	<0,05	<0,1
	Smješa III/G	45	13	23	2	2	0,25	4,8	<0,05	<0,1
	Smješa IV/G	263	47	19	6	7	0,34	5,1	<0,05	<0,1
Podloga I	Lucerka	790	56	17	6	5	0,20	3,1	<0,05	<0,1
	Smješa I/G	1199	117	22	6	7	0,16	6,2	<0,05	<0,1
	Smješa III/G	243	48	15	2	10	0,28	5,3	<0,05	<0,1
	Smješa IV/G	1457	112	30	10	12	0,20	7,2	<0,05	<0,1
Podloga II	Lucerka	1660	97	27	9	6	0,40	6,5	<0,05	<0,1
	Smješa I/G	1213	121	20	6	6	0,30	5,1	<0,05	<0,1
	Smješa III/G	231	38	11	2	10	0,30	5,4	<0,05	<0,1
	Smješa IV/G	328	68	17	7	10	0,38	6,0	<0,05	<0,1

Prema rezultatima ispitivanja biljnih materijala prvog otkosa, sadržaj mikroelemenata i teških metala u biljnom materijalu bio je u dozvoljenim granicama. Međutim, uočeno je značano osciliranje u sadržaju pojedinih mikroelemenata i teških metala u biljnom materijalu na podlogama.

U drugoj godini (2013) takođe je ispitan sadržaj mikroelemenata i teških metala u biljnoj masi prvog otkosa, a rezultati su prikazani u tab 12.

Tabela 12. Rezultati hemijskih analiza biljne materije lucerke i travno-leguminoznih smješa I otkos u 2013. godini

Podloga	Leguminoza/ smješa	mg/kg								
		Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Hg	As
Podloga 0	Lucerka	132	17	23	3	2,5	0,30	2,3	<0,05	<0,1
	Smješa I/G	105	21	22	6	2,3	0,22	1,1	<0,05	<0,1
	Smješa III/G	125	16	20	3	2,5	0,42	1,1	<0,05	<0,1
	Smješa IV/G	105	20	19	9	2,3	0,30	3,8	<0,05	<0,1
Podloga I	Lucerka	239	52	20	12	2,4	0,30	3,0	<0,05	<0,1
	Smješa I/G	159	50	17	9	2,8	0,20	4,2	<0,05	<0,1
	Smješa III/G	232	54	17	8	3,5	0,23	1,8	<0,05	<0,1
	Smješa IV/G	144	37	14	9	3,7	0,36	2,3	<0,05	<0,1

Podloga II	Lucerka	282	43	18	11	4,6	0,31	3,3	<0,05	<0,1
	Smješa I/G	150	40	14	10	2,5	0,24	4,9	<0,05	<0,1
	Smješa III/G	155	38	13	6	2,3	0,24	1,1	<0,05	<0,1
	Smješa IV/G	131	40	14	5	2,7	0,17	1,1	<0,05	<0,1

Dobijene vrijednosti sadržaja mikroelemenata i teških metala bile su u dozvoljenim granicama. U odnosu na godinu sjetve oscilacije u sadržaju mikroelemenata i teških metala u biljnom materijalu bile su znatno niže. U ovoj godini naročito je došlo do smanjenja sadržaja Fe u biljnom materijalu smješa I/G i IV/G na podlozi I , te kod lucerke u čistoj sjetvi i smješi I/G na podlozi II.

ZAKLJUČAK

Hemijskim analizama zemljišta korištenog za rekultivaciju utvrđeno je da se radi o alkalnom zemljištu, sa malim sadržajem osnovnih hranjivih elemenata. U uzorcima zemljišta utvrđen je povećan sadržaj kadmijuma (Cd) i nikla (Ni), koji su iznad dozvoljenih graničnih vrijednosti za poljoprivredna zemljišta. Povećan sadržaj kadmijuma (Cd) i nikla (Ni) u zemljištu nije se odrazio na povećan sadržaj ovih elemenata u biljnom materijalu ispitivanih biljnih vrsta. Najbolja prosječna pokrovnost zemljišta na kraju dvogodišnjih ispitivanja postignuta je sa smješom I/G. Najlošiju prosječnu pokrovnost na svim podlogama imala je smješa III/G. Na podlozi I ostvaren je najveći prosječan dvogodišnji prinos zelene mase. Lucerka i travno-leguminozne smješe, dale su pozitivne rezultate i u direktnoj sjetvi na čisti laporac.

Na podlozi 0 (laporac) najveći prosječni prinosi zelene mase ostvareni su sa smješom IV/G. Dobijeni rezultati ovih ispitivanja treba da posluže kao osnova za izbor poboljšanih i ekonomski isplativijih kombinacija rekultivacije, kao i za izbor vrsta i najpogodnijih travno-leguminoznih smješa za direktnu rekultivaciju laporca ili indirektnu sa manje moćnim slojem zemljišta ili kombinacije zemljišta i drugih supstrata.

BIOLOGICAL RECLAMATION OF SOILS DEGRADED BY MINING ACTIVITY ON LOCATION SRDJEVICI – GACKO

Zeljko Lakić PhD, Tihomir Predić PhD, Slobodanka Pavlović PhD

Abstract: Research has been performed on soil degraded by mining on locality Srdjevici owned by Mine and thermal power plant Gacko in a period of 2011 to 2013. Experiment has been set on three soil beds: pure marl – control; soil 40 cm – marl 35 cm – gravel 30 cm; soil 40 cm – marl 35 cm – ashes 40 cm. For sowing have been used three grass-legumes mixtures and alfalfa in a pure culture. During biennial testing following parameters have been followed: chemical properties of marl before and after biennial testing, chemical properties of soil and other soil beds, total content of microelements, heavy metals and concentration of polychlorinated biphenyl (PCB) in marl and soil beds, covering of soil with crops at the end of a second year of testing, botanical analysis of green mass of mixtures at the beginning and the end of testing, green mass yield per years and content of microelements and heavy metals in a dry plant mass.

Soil that has been used in reclamation had a base reaction. With analysis of samples of marl, soil and other soil beds we have confirmed an increased content of heavy metals cadmium (Cd) and nickel (Ni) and determined values have been above allowed border values for agricultural soil.

During biennial testing the best average covering of soil was on soil beds sowed with a mixture I/G (alfalfa 70% + orchard grass 30%). On control soil bed (pure marl) the highest yield of green mass has been accomplished with a mixture IV/G (15.1 t/ha). Increased content of heavy metals cadmium (Cd) and nickel (Ni), which has been determined in soil and other soil beds, haven't increased content of these elements in plant material of tested plant species.

Key words: *biological reclamation, alfalfa, grass-legumes mixtures, soil bed, marl, covering, heavy metals.*

LITERATURA

1. Belanović S., Čakmak D., Kadović R., Beloica J., Perović V., Alnaass N., Saljnikov E. (2012): Pristupačnost mikroelemenata (Pb, Cd, Cu i Zn) u odnosu na svojstva zemljišta pod pašnjacima Stare Planine, Glasnik Šumarskog fakulteta 106, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd, 41-56.
2. Belanović S., Bjedov I., Čakmak D., Obratov-Petković D., Kadović R., Beloica J. (2013): Influence of Zn on the availability of Cd and Cu to Vaccinium species in unpolluted areas - A Case study of Stara planina Mt. (Serbia), Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 8, 3, 5 – 14.
3. Belanović Simić S., Knežević M., Košanin O., Kadović R., Miljković P., Vićentijević M., Beloica J. (2015): Potencijalni ekološki rizik od sadržaja štetnih mikroelemenata u zemljištima opštine Pančaevo. Zbornik radova „Zemljište 2015“, II savjetovanje sa međunarodnim učešćem i V konferencija sa međunarodnim učešćem „Remedijacija 2015“, Sremski Karlovci, 37-45.
4. Golubović Tatjana, Golubović Slobodan, Glišović Srđan (2015): Biološka rekultivacija deponije-primer dobre prakse. Zbornik radova „Zemljište 2015“, II savjetovanje sa međunarodnim učešćem i V konferencija sa međunarodnim učešćem „Remedijacija 2015“, Sremski Karlovci, 63-67.
5. Hu Y., Liu X., Bai J., Shih K., Zeng E. Y., Cheng H. (2013): Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent materials, Geoderma 161, 30 - 42.
6. Lakić Ž., Vojin S., Gatarić Đ. (2008): Prinos i kvalitet biomase krmnih leguminoza i trava gajenih u čistom usjevu i smješama. Agroznanje, vol. 9, 3, Banja Luka, 113-122.
7. Lu X. (2005): The risk for heavy metal mobility from corrosion products to soil and groundwater, master thesis, KTH Land and Water Resources Engineering, 1-15.
8. Malić N., Lakić Ž. (2011): Mogućnost gajenja visokog vijuka (*Festuca arundinaceae* Schreb.) u rekultivaciji stanarskih deposola. Agroznanje, vol. 12, 1, Banja Luka, 57-65.
9. Nachttegaal M., Sparks D.L., (2004): Effect of iron oxide coatings on zinc sorption mechanism at the clay–mineral/water interface. J. Colloid Interface Sci. 276, 13–23.
10. Qingjie G., Jun D., Yunchuan X., Qingfei W., Liqiang Y. (2008): Calculating Pollution Indices by Heavy Metals in Ecological Geochemistry Assessment and a Case Study in Parks of Beijing, Journal of China University of Geosciences, Vol. 19, 3, 230–241
Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u poljoprivrednom zemljištu i vodama za navodnjavanje i metodama za njihovo ispitivanje. Službeni glasnik Republike Srpske 72/16.