

KARAKTERISTIKE PEDOGENETSKIH PROCESA PRI INTENZIVNIM AGROTEHNIČKIM MJERAMA U PROCESU REKULTIVACIJE

Malić Nenad¹, Matko Stamenković Una²

¹EFT – Rudnik i Termoelektrana Stanari, Republika Srpska (Bosna i Hercegovina)

²EFT Trade Beograd, Srbija

Corresponding author: Malić Nenad, Rudnik i Termoelektrana Stanari, Stanari b.b. Stanari 74208, Republika Srpska; Tel: +387-53-209-930

E-mail: mzmalic@gmail.com

SAŽETAK

Tehnogenim zemljištima su determinisane vještački nastale površine u zoni površinskih kopova, odnosno rudarskih aktivnosti. Formiranje i razvoj mladog tehnogenog zemljišta je ključan aspekt u procesu rekultivacije a od izuzetne važnosti i u zasnivanju vegetacije. Rezultati izneseni u radu predstavljaju dio višegodišnjeg istraživanja agrotehničke i biološke faze rekultivacije provedenog u ugljenom basenu Stanari, u Republici Srpskoj (BiH), na platou unutrašnjeg odlagališta otkrivke sa kopa Raškovac. U radu su prikazani rezultati razvoja, i osnovne hemijske osobine rekultisola u petogodišnjem periodu istraživanja. Faktor zasnovanih vegetacija u istraživanju obuhvatio je dvije grupacije agrofitocenoza: sijani travnjak i jednogodišnje ratarske kulture. Pedološka analiza obuhvatila je laboratorijsko ispitivanje osnovnih hemijskih osobina deosola i rekultisola (hemijska reakcija, sadržaj organske materije i humusa, adsorptivni kompleks zemljišta, sadržaj P₂O₅, K₂O i ukupnog N), uz otvaranje profila rekultisola do dubine 40 cm na kraju 2013. i 2015. godine. Istraživani deosol predstavlja slabo vezani pjeskovito ilovasti supstrat sa primjesama glinovitog materijala, kisele reakcije, niskog sadržaja organske materije, i osnovnih biogenih elemenata. U petogodišnjem periodu istraživanja procesa rekultivacije, i usljed djelovanja primijenjene agrotehnike i ekoloških faktora uslijedila je evolucija deosola u rekultisol. Na otvorenim profilima rekultisola izdvaja se gornji (površinski) sloj u početnoj fazi diferencijacije horizonta. U otvorenim profilima rekultisola opisana su dva sloja istraživanog tehnogenog zemljišta: dp(A)–dpIC. Formirani površinski mineralno-organogeni sloj dp(A) je crnosive boje, što predstavlja znak poboljšanja osnovnih parametara plodnosti istraživanog tehnogenog zemljišta. U opisu otvorenih profila rekultisola prvi podsloj dpIC je karakterističan po manje-više crvenkastoj boji sa žutim, smeđim i sivim nijansama.

Ključne riječi: Agrofitocenoze, tehnogeno zemljište, pedogeneza, inicijalni humusni horizont

UVOD

Površinskom eksploatacijom mineralnih sirovina kao dominantnim načinom rudarenja na našim prostorima prvobitni prirodni pedološki pokrivač se troši, a nerijetko i potpuno gubi. Površinskom eksploatacijom prouzrokuju se značajni poremećaji u životnoj sredini i to od dva do deset puta veći nego u podzemnoj eksploataciji (Li, 2006).

Rudarska zemljišta ili zemljišta površinskih kopova (*mine soil, mine land sites, mine degraded land, technosols*) jesu tehnogene tvorevine formirane na alohtonim supstratima, koji su ljudskom aktivnošću u tehnološkom procesu dospjeli na to mjesto (otuda naziv „tehnogena zemljišta“). Prema posljednjoj klasifikaciji zemljišta u Bosni i Hercegovini (Resulovićisar., 2008; Resulović i Čustović, 2007), novostvorena zemljišta površinskih kopova se nalaze u VII klasi razdjela terestričnih zemljišta, klasa tehnosola, sa šest potklasa. Deposol i rekultisol su dva tipa tehnogenih zemljišta sistematizovana u prvoj klasi (klasa na izmijenjenom prirodnom supstratu). Prema navedenoj klasifikaciji, označavanje slojeva deposola je Y1–Y2–Y3... zemljište (ili Ydp–Y1...), a za rekultisol jY–Y1–Y2.

Na prostoru bivše SFRJ prva istraživanja o procesima pedodinamike i pedogeneze u deposolima koji se odvijaju uporedo sa vremenom iznosi Resulović (1982). Isti autor navodi specifične procese pedodinamike u deposolima, gdje ubraja: promjene u teksturnom sastavu, slijeganje (zbijanje), stvaranje mikrodepresija, humizacija, oksidacija uglja, promjene mineralnog sastava i vodna erozija.

Pri istraživanju pedogeneze na laporovitom odlagalištu Kažalj u rudniku Đurđevik (Živinice, BiH), Mujačić (2013) uzevši u obzir sve pedogenetske faktore (matični supstrat, reljef, klima, organizmi i vrijeme) i poredeći ih u formiranju prirodnih i tehnogenih zemljišta, a znajući da porijeklo ovih drugih vodi od primijenjene eksploatacije mineralnih resursa i tehnološkog procesa, proces nastanka deposola i rekultisola naziva tehnopedogenezom. Period razvoja zemljišta u procesu rekultivacije je često isuviše kratak da bi se svi pedogenetski faktori manifestovali u punom efektu. Isti autor u navedenom istraživanju konstatuje da se u jedanaestogodišnjem periodu rekultivacije izdiferencirao površinski sloj 0–20 cm i da od te faze počinje formiranje genetičkog horizonta u kome se akumulira humus, te se uočavaju različite promjene između slojeva. U navedenom istraživanju diferencijacija površinskog horizonta uočena je već nakon petogodišnjeg perioda rekultivacije. Izdiferencirani genetički horizont je označen u vidu profila dpA–C i prvi sloj/horizont predstavlja horizontalni dio pedosfere, koji je prošao kroz određene procese pedogeneze. Na kraju tridesetogodišnjeg perioda istraživanja

pedogeneze odlagališta Kažalj, isti autor je, prema opštem izgledu otvorenih profila koji asociraju na prirodne rendzine, ove tehnogene tvorevine nazvao deporendzinama.

U proučavanju rekultivacije glinovitih odlagališta sa površinskih kopova centralnog Kosova, Đikić (2010) je u provedenim istraživanjima deposol označio profilima (Ah)–I–II–III.

Osim ova dva osnovna tipa tehnogenih zemljišta, Malić (2010) je tokom istraživanja rekultivacije sa sideracijom predložio prelaznu formu ka rekultisolu, u tipu/stadijumu meliorisanog deposola.

Toktar et al. (2017) tokom provedenih istraživanja zemljišta i biljaka na antropogenim površinama formiranim na rudnicima u Kazahstanu ista nazivaju „mine protosoils“.

Za tehnogena zemljišta, jedan od najvažnijih aktivnih faktora je antropogena aktivnost, jer čovjek svojom aktivnošću (mjerama rekultivacije) ili neaktivnošću može znatno usmjeriti i/ili ubrzati procese pedogeneze. Kod posmatranja navedenih procesa važno je u startu definisati da li se posmatra proces u okviru direktne ili indirektno rekultivacije.

Tehnopedogeneza ili pedogeneza nakon formiranja rekultisola nastavlja se i dalje odvijati i najviše zavisi od matičnog supstrata, odnosno od toka procesa u njemu, koji mogu biti rezultat prirodnog ili antropogenog uticaja. Činjenicu da su fizičke i hemijske osobine tehnogenog zemljišta na jednoj lokaciji direktno uslovljene istim tim osobinama matičnog geološkog materijala od kojih su formirani navode Mukhopadhyay et al. (2016). U vidu proširenja ovakve tvrdnje Canfora et al. (2015) i Camili et al. (2016) konstatuju da su sadržaj organskog ugljenika, te mikrobiološka aktivnost i njihova raznolikost posljedice razvoja vegetacije vođene biološkim procesima.

Studije sa temom revitalizacije degradiranog zemljišta površinskih kopova dokazuju da su njihove pedološke osobine pod uticajem biljnih zajednica na njima (Clark and Ziper, 2016) ali nisu statične, već se razvijaju kroz vrijeme (Pellegrini et al. 2016). Osobine tehnogenih zemljišta i njihov uticaj na razvoj vegetacije i/ili na biološku aktivnost zemljišta su bili istraživani u nekoliko životnih zajednica, uključujući napuštene i zatvorene rudarske basene (Knops and Tilman, 2000; Wang et al., 2008), šumske ekosisteme (Matlack, 2009), i pošumljene površine odlagališta otkrivke (Jozefowska et al., 2016).

Sobocka et al. (2017) navode da se površinski sloj tehnogenih zemljišta može razvijati pod uticajem inicijalnih pedogenetskih procesa ili kao rezultat primijenjenih mjera rekultivacije. Na taj način prvobitno dolazi do diferencijacije inicijalnog humusnog akumulativnog horizonta od formiranog organo-mineralnog sloja.

Rohoškova et al. (2006) u svojim istraživanjima osnovnih pravaca razvoja rekultivisanih površina u dva rudarska basena u Češkoj Republici identifikuju ova zemljišta kao antropogena. Pri tome navode da su ljudske aktivnosti osnovni faktor u formiranju ovih zemljišta.

Slične tvrdnje iznose Nemeček et al. (2001) navodeći da specifični uslovi razvoja zemljišta mogu biti postignuti tek nakon njihove rekultivacije. Prema tome, osobine novostvorenih zemljišta koja se razvijaju u procesu rekultivacije rudarskih odlagališta posmatraju se kroz uticaj antropogeno-kontrolisanih uslova koji se često predstavlja dominantnim u odnosu na prirodne procese.

Tokom 25-godišnjeg istraživačkog rada proučavanja zemljišta u procesu rekultivacije na odlagalištima otkrivke u Češkoj Republici, Kozak et al. (2017) vršili su analizu fizičkih (zapreminska masa, poroznost, i stabilnost zemljišne strukture), određenih hemijskih svojstava (sadržaj humusa, biljnih hraniva, pH zemljišta, i prisustvo potencijalnih toksičnih elemenata). Pri tome, dobijeni rezultati ukazuju na različite vrijednosti i kvalitet novoformiranih zemljišta u skladu sa primijenjenim tehnikama rekultivacije.

Prema Sencidiver-u and Ammons-u (2000) zamrzavanje i odmrzavanje, procesi oticanja i smanjivanja, raspadanje i resinteza organske materije, agregacija zemljišnih čestica i dr. predstavljaju glavne pedogenetske procese koji utiču na razvoj tehnogenih zemljišta. Isti autori navode da se inicijalni humusni horizont (A) u procesu rekultivacije već uočava u petoj godini. Ovaj inicijalni površinski horizont je tanji ali se njegove osobine značajno razlikuju od podpovršinskih (dubljih) slojeva (rastresitost usljed rasta korijenovog sistema, akumulacija organske materije, tamnija boja, razvoj zemljišne strukture, i dr). Mladi vještački formirani horizont je dobro prepoznatljiv u rekultivisanim zemljištima i najčešće sadrži osobine originalnog prirodnog horizonta ako je isti korišćen u procesu indirektno rekultivacije. Isti autori dalje navode mogućnost formiranja nekih horizonata i u dubljim slojevima profila zemljišta u procesu rekultivacije, kao npr. kambičnog (B) ili iluvijalnog horizonta B, različite starosti.

Cilj rada je primjer opisa istraživanih mladog tehnogenog zemljišta rekultisola i analiza njegovih osnovnih osobina u agroekološkim uslovima rudnika Stanari u Republici Srpskoj (BiH). U ovome akcenat se daje ulozu tehnogenog matičnog supstrata, i proučavanju morfologije profila rekultisola sa interpretacijom njegovih osnovnih svojstava.

Pregledom rezultata dosadašnjih fizičkih i hemijskih analiza deosola na odlagalištima otkrivke u rudniku Stanari konstatovano je da isti imaju povoljne fizičko – mehaničke, ali loše hemijske osobine (Malić, 2015; Malić i Marković, 2012; Malić, 2010).

Geološke serije krovinskog pokrivača ugljenog sloja na površinskom kopu Raškovac u rudniku Stanari čine uglavnom izmiješane pjeskovito-šljunkovite, i glinovite zone i slojevi. Ovi

materijali predstavljaju slabo vezane i nevezane sedimente. Debljina krovinskog pokrivača varira od 10 do 60 m. Pjeskoviti materijal je kvarcnog mineraloškog sastava i takav je niske plodnosti kada ulazi u sastav matičnog supstrata. Bentonitna glina je drugi građivni materijal krovine ugljenog sloja. Osnovni sastojci bentonitne gline su: montmorilonit, kaolinit, ilit.

MATERIJAL I METODE

Ugljeni basen Stanari nalazi se između 44°40' i 44°50' sjeverne geografske širine i 17°45' i 18°00' istočne geografske dužine, u sjevernom dijelu Republike Srpske, i Bosne i Hercegovine, u kome eksploataciju lignita vrši preduzeće EFT – Rudnik i Termoelektrana Stanari. Istraživanje agrotehničke i biološke faze rekultivacijedirektnog tipa, provedeno je na eksperimentalnom polju (x: 6.486.822,33; y: 4.957.645,63; z: 220 m, P = 0,2 ha) na unutrašnjem odlagalištu otkrivke sa površinskog kopa Raškovac. Poljsko i laboratorijsko istraživanje je provedeno u petogodišnjem periodu (2011–2015. godine). Dio odlagališta otkrivke gdje se nalazi eksperimentalno polje formirano je u toku 2010. godine.

U okviru istraživanja biološke rekultivacije zasnovane su agrofitocenoze u proljetnjem periodu 2011. Istraživanje procesa rekultivacije je obuhvatilo praćenje više faktora: osnovni klimatski pokazatelji (količina padavina, i temperatura vazduha), primijenjene agrotehničke mjere (đubrenje mineralnim đubrivima, kalcifikacija krečnjakom), sistemi zasnovane vegetacije (različite biljne vrste), i pedološka analiza tehnogenog zemljišta.

Istraživanje sistema zasnovanih vegetacija obuhvatio je dva tretmana. Prvi tretman je postavljen zasnivanjem sijanog travnjaka u jednom dijelu a u drugom dijelu eksperimentalnog poljasu gajene jednogodišnje ratarske kulture. Sijani travnjak je zasnovan u aprilu 2011. godine, pri čemu će se od više tretmana izdvojiti po jedna složena i polusložena travno-leguminozna smjesa (Malić, 2015). Sjetvenanorma je iznosila 45 kg/ha asjetva je obavljena u obrađeni deposol. U predsjetvenoj obradi izršeno je đubrenje sa 600 kg/ha mineralnog đubriva NPK 15:15:15. Na početku svake naredne vegetacije i nakon prvog otkosa vršena je prihrana azotnim đubrivom u dozi od 200 kg/ha KAN-a (27% N). Travnjak je košen primjenom malčera dva puta godišnje pri čemu je biljna masa ostajala na površini deposola u procesu rekultivacije.

Drugi tretman je obuhvatio gajenje prosolikih i strnih žita. Prosolika žita (krmni sirak i sudanska trava) gajeni su u proljetnjem roku 2011. godine i naknadnom, postrnom roku 2012. Sjetvena norma ove dvije kulture iznosila je 40 kg/ha a u predsjetvenoj pripremi je korišćeno 400 kg/ha mineralnog đubriva NPK 15:15:15. Ove pionirske kulture su u maksimalnom porastu zaorane u površinski sloj deposola. Nakon primarnog podizanja plodnosti istraživanog deposola na ovom ovom tretmanu su gajeneraž, tritikale, i pšenica, sjetvom u jesenjem roku 2011, 2012,

i 2013. godine, te sjetva heljde u postrnom roku 2013. Pri tome je korišćena standardna agrotehnika pri gajenju strnih žitarica. U fenofazi tehnološke zrelosti vršena je žetva žitarica a biljni ostaci zaoravani u površinski sloj deposola u procesu rekultivacije.

U jesenjem roku 2014. izvršena je osnovna obrada površinskog oraničnog sloja cijelog eksperimentalnog polja. Nakon dopunske obraderekultisola i primjene mineralnog đubriva izvršena je sjetva ozimog tritikalea.

Na tretmanima (eksperimentalnim parcelama) koji su bili pod travno-leguminoznim smjesama u jesen 2013. godine prvi put su otvoreni profili (profili 1, 2, 9. i 10) u rekultivisanom tehnogenom zemljištu do 40 cm dubine. Na kraju 2015. izvršeno je proučavanje profila na kojima su bili gajeni jednogodišnji ratarski usjevi (profili 36-37), kao i profila gdje je u procesu biološke rekultivacije bio zasnovan sijani travnjak do 2014. a potom jednogodišnje gajenje tritikalea (profil 38). U okviru cjelokupnog istraživanja otvoreno je ukupno 40 profila, dok je u ovom radu prikazano sedam reprezentativnih. Za potrebe laboratorijskih pedoloških istraživanja uzeti su prosječni uzorci deposola prije istraživanja na početku 2011. godine, te uzorci rekultisolana kraju vegetacije u 2013, i 2015. Uzorci za analizu su uzimani sa dubine 0–20 cm. Analiza tehnogenog zemljišta obuhvatila je ispitivanje sljedećih parametara:

- 1) sadržaj organske materije u %, metodom suvog spaljivanja na 550°C;
- 2) sadržaj humusa u %, kolorimetrijskom metodom, u mokrospaljenom uzorku sa 1N K₂Cr₂O₇i koncentrovanom H₂SO₄;
- 3) fiziološki aktivni P₂O₅ i K₂O, u mg/100 g zemljišta, AL-metodom;
- 4) reakcija zemljišta (pH u H₂O; pH u 1N KCl), elektrometrijski kombinovanom elektrodom na pH metru;
- 5) adsorptivni kompleks zemljišta, prema metodi Karpena; i
- 6) ukupni N u %, semimikro Kjeldahl metodom.

Osnovni klimatski pokazatelji (padavine i temperature vazduha) u istraživanom petogodišnjem periodu prikazani su u sljedećim tabelama (Tabeli 1 i 2).

Tabela 1. Mjesečne količine padavina za period 2011–2015. godine (mm)

Table 1. Monthly quantities of precipitation for the period 2011-2015. year (mm)

God.	MJESECI												Σ
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	
2011.	62,6	37,1	32,4	20,5	76,45	42,00	71,40	25,7	12,80	43,60	14,0	111,05	549,60
2012.	85,7	70,5	4,4	129,1	153,8	43,7	44,5	18	80,5	130,50	76,72	142,20	979,62
2013.	77,8	115,4	130,5	43,3	180,5	100,1	53,7	32,7	123,3	37,7	160	2,1	1057,1
2014.	48,2	73,2	73,5	227,6	377,7	135	154,9	244,3	197,5	112,4	49,8	99,1	1793,2
2015.	106,1	98,0	121,6	48,7	166,2	65,2	13,3	46,1	106,1	141,2	78,00	8	998,5
\bar{x}	73	75	72	90	181	80	66	73	102	90	74	72	1048

Tabela 2. Prosjek srednjih mjesečnih i srednje godišnje temperature vazduha za period 2011–2015. godine (°C)**Table 2.** Average monthly and average annual air temperature for the period 2011-2015. year (°C)

God.	MJESECI												\bar{x}
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	
2011.	0,8	0,7	5,3	11,3	15,32	20,1	22,4	22,5	19,0	11,5	4,9	5,7	11,6
2012.	3,4	-1	9,3	12,6	16,4	22	24,4	22,9	17,7	12,7	10,7	2,7	12,8
2013.	4,5	4,2	7,1	14,7	13,7	23,3	22,3	22,4	15,4	13,2	8,9	3,7	12,8
2014.	6,6	7,7	9,5	13,2	16,3	19,8	21,7	20,5	16,6	13,6	9,8	5,5	13,4
2015.	4,8	4,2	7,8	12,0	17,6	19,3	23,4	22,9	17,0	11,9	6,9	4,6	12,7
\bar{x}	4,0	3,2	7,8	12,7	15,9	21,0	22,8	22,2	17,1	12,6	8,24	4,4	12,6

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Prema rezultatima provedene analize hemijskih osobina deposola u tri uzorka na početku istraživanja a na osnovu hemijske reakcije (izmjerene vrijednosti pH u H₂O su u intervalu od 5,2 do 6,2) konstatuje se da ispitivani uzorci svrstavaju u kategoriju slabe, srednje i jako kisele reakcije zemljišta (prema Živkoviću, 1991). Vrijednost pH mjenog u KCl a prema klasifikaciji Šefer-Šahtšabel-a označavaju deposol vrlo kisele reakcije. Na osnovu sadržaja organske materije (manje od 2%), uzorci deposola pripadaju klasi slabe obezbjeđenosti humoznosti, dok čistog humusa nema. Prema sadržaju P₂O₅ i K₂O, isti se svrstavaju u klasu vrlo siromašne obezbjeđenosti ovim elementima. Rezultati analize adsorptivnog kompleksa deposola ukazuju da se radi o uzorcima veoma jake, jake i umjerene nezasićenosti baznim katjonima.

Obim i intenzitet provedenih mjera rekultivacije međusobno su povezani sa periodom trajanja rekultivacije, što zajedno utiče na krajnji rezultat i osobine rekultivisanog zemljišta. Istraživano tehnogeno zemljište ima poznat početak pedogeneze. Taj momenat predstavlja završetak odlaganja otkrivke na datoj lokaciji unutrašnjeg odlagališta, što je izvršeno krajem 2010. godine. Kako je istraživanje provedeno na tek formiranom dijelu unutrašnjeg odlagališta, pedogeneza se poklapa sa početkom primjene mjera rekultivacije.

U petogodišnjem periodu istraživanja, u sprezi ekoloških faktora i primijenjenih mjera biološke rekultivacije i agrotehnike uslijedila je evolucija deposola u novu pedosistematsku jedinicu – rekultisol (geogeni rekultisol, prema Resuloviću, 1984), sa vidljivim morfološkim promjenama u otvorenim profilima. Dubina proučavanih profila do 40 cm se izjednačava sa uticajem tehnogenog matičnog supstrata, koji je zajedno sa primijenjenim mjerama najviše uticao na kvantitativna i kvalitativna svojstva gajenih agrofitoroza, te na hemijske osobine

formiranog rekultisola. Tako se u otvorenim profilima rekultisola jasno izdvaja građa, kako slijedi:

- **dp(A)** – površinski mineralno-organogeni sloju početnoj fazi diferencijacije. Dubina sloja u zavisnosti od primijenjenih tretmana i prisutnih ekoloških uslova iznosi od 2 do 15 cm, i
- **dpIC** – prvi podsloj tehnogenog matičnog supstrata, do dubine 40 cm.

Profil rekultisola: Pr-1. Opis profila rekultisola i rezultati hemijskih osobina prosječnog uzorka

pH		Organska materija	Humus	Ukupni N	AL - P ₂ O ₅	AL - K ₂ O
H ₂ O	KCl	(%)			mg/100 g zemljišta	
5,3	4,2	2,29	0,0	0,0	0,4	1,4
Adsorptivni kompleks zemljišta				Klasa zemljišta po stepenu zasićenosti baznim katjonima		
S	H (T-S)	T	V (%)			
cmol/kg						
9,6	40,9	50,5	19,0	Jako nezasićeno		

Sloj na dubini od 0 do 20 cm jako kisele reakcije i jako nezasićen baznim katjonima. Povećanje sadržaja organske materije za 140% (oko 1,4 puta).

Pr-1
(složena travno-leguminozna smjesa:
Festuca arundinacea Schreb. 25%,
Festuca rubra L. 20%, *Dactylis glomerata* L. 10%,
Phleum pratense L. 10%, *Trifolium repens* L. 10%,
Trifolium pratense L. 10%, *Medicago sativa* L. 10%,
Poa pratensis L. 5%)

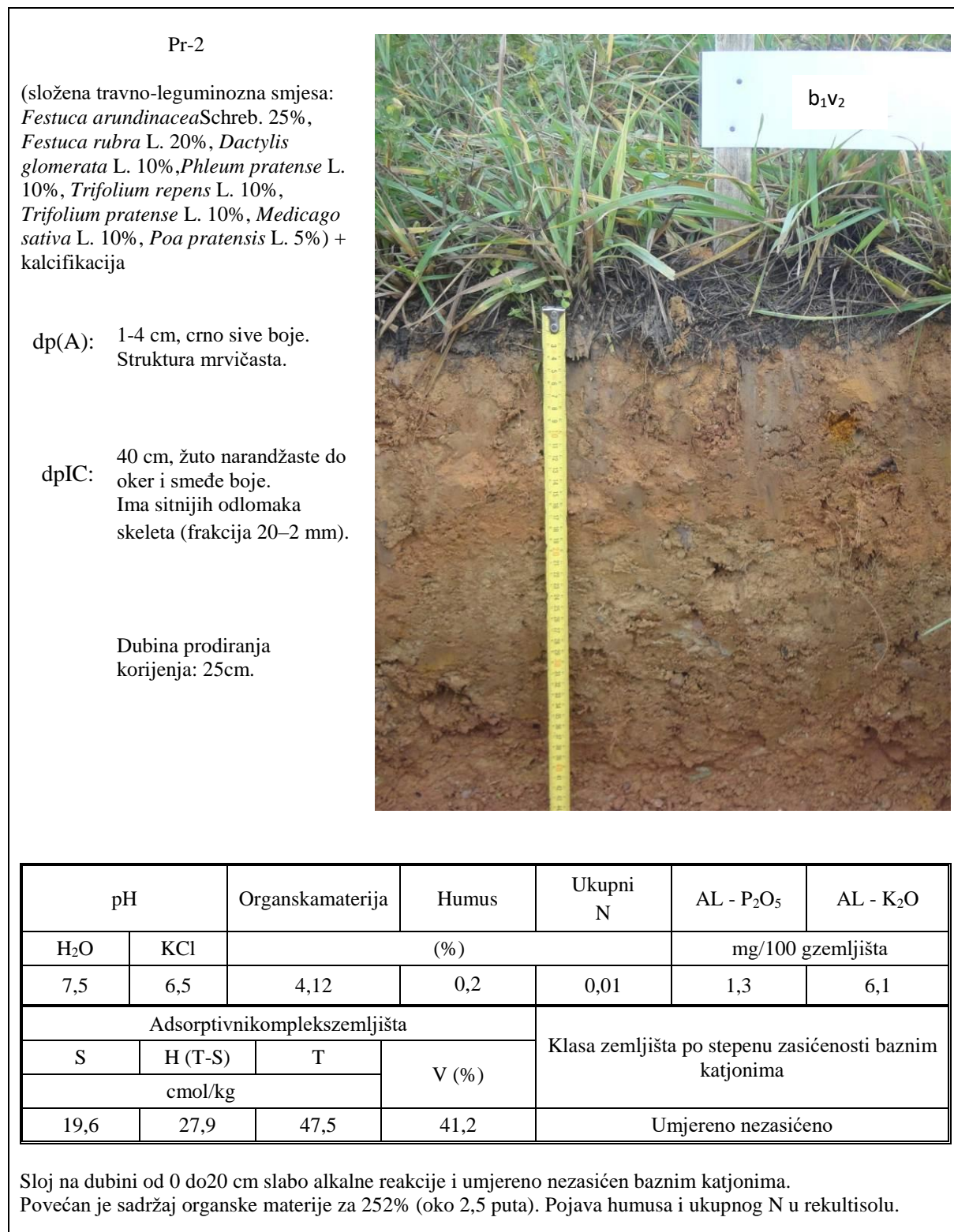
dp(A): 1-4 cm, crno sive boje.
Struktura mrvičasta.

dpIC: 4-40 cm, žuto smeđe boje sa crnim nijansama.
Ima sitnijih odlomaka skeleta (frakcija 20–2 mm) i krupnijih komada uglja.


Dubina prodiranja korijenja:
20 cm.



Profil rekultisola: Pr-2. Opis profila rekultisola i rezultati hemijskih osobina prosječnog uzorka



Profil rekultisola: Pr-9. Opis profila rekultisola i rezultati hemijskih osobina prosječnog uzorka

Pr-9						
<p>(polusložena travno-leguminozna smjesa: <i>Festuca rubra</i> L. 50%, <i>Poa pratensis</i> L. 30%, <i>Lotus corniculatus</i> L. 10%, <i>Trifolium repens</i> L. 10%,)</p>						
<p>dp(A): 1-2cm, crno sive boje. Struktura mrvičasta.</p>						
<p>dpIC: 2-40 cm, žuto narandžaste boje sa crnim i sivim nijansama. Ima sitnijih odlomaka skeleta (frakcija 20–2 mm), i komadića uglja. Uočljiv prelaz u treći geološki sloj.</p>						
<p>Dubina prodiranja korijenja: 25cm.</p>						
						
pH		Organska materija	Humus	Ukupni N	AL - P ₂ O ₅	AL - K ₂ O
H ₂ O	KCl	(%)			mg/100 gzemljišta	
6,2	6,9	3,98	0,0	0,00	0,8	4,0
Adsorptivni kompleks zemljišta				Klasa zemljišta po stepenu zasićenosti baznim katjonima		
S	H (T-S)	T	V (%)			
cmol/kg						
14,8	30,0	44,8	33,0	Umjereno nezasićeno		
<p>Sloj na dubini od 0 do 20 cm slabo kisele reakcije i umjereno nezasićen baznim katjonima. Povećanje sadržaja organske materije za 244% (oko 2,4 puta).</p>						

Profil rekultisola: Pr-10. Opis profila rekultisola i rezultati hemijskih osobina prosječnog uzorka


Pr-10

(polusložena travno-leguminozna smjesa: *Festuca rubra* L. 50%, *Poa pratensis* L. 30%, *Lotus corniculatus* L. 10%, *Trifolium repens* L. 10%,) + kalcifikacija

dp(A): 1-4 cm, crno sive boje. Struktura mrvičasta.

dpIC: 4-40 cm, narandžasto smeđe boje sa žutim i sivim nijansama. Ima krupnijih odlomaka skeleta (frakcija > 20 mm).

Dubina prodiranja korijenja: 20 cm.




pH		Organska materija	Humus	Ukupni N	AL - P ₂ O ₅	AL - K ₂ O
H ₂ O	KCl	(%)			mg/100 g zemljišta	
7,5	6,6	4,21	0,1	0,00	0,8	6,9
Adsorptivni kompleks zemljišta				Klasa zemljišta po stepenu zasićenosti baznim katjonima		
S	H (T-S)	T	V (%)			
cmol/kg						
19,2	26,5	45,7	41,9	Umjereno nezasićeno		

Sloj na dubini od 0 do 20 cm slabo alkalne reakcije i umjereno nezasićen baznim katjonima. Povećanje sadržaja organske materije za 258% (oko 2,6 puta). Pojava humusa.

Kod prikazana sljedeća tri profila (Pr-36, 37. i 38) radi se o rekultisolu gdje je u procesu formiranja istog primjenjivana osnovna obrada, te je površinski sloj nešto dublji i često izmiješan sa prvim podslojem istraživanog tehnogenog zemljišta.

Profil rekultisola: Pr-36. Opis profila rekultisola i rezultati hemijskih osobina prosječnog uzorka

Pr-36						
Jednogodišnje ratarske kulture (2011-2015) + kalcifikacija						
<p>dp(A): 1-15 cm, sivo smeđe boje. Usljed višegodišnjeg provođenja osnovne obrade, inicijalni oranični horizont je pomiješan sa donjim spojem. Vidljivi biljni ostaci u procesu razlaganja. Struktura ilovasto glinovita.</p> <p>dpIC: 10-30 cm, smeđe boje.</p>						
						
pH		Organska materija	Humus	Ukupni N	AL - P ₂ O ₅	AL - K ₂ O
H ₂ O	KCl	(%)			mg/100 g zemljišta	
6,5	5,3	4,61	0,13	0,01	2,5	8,6
Adsorptivni kompleks zemljišta				Klasa zemljišta po stepenu zasićenosti baznim katjonima		
S	H (T-S)	T	V (%)			
cmol/kg						
3,2	3,75	6,95	0,46			
<p>Sloj na dubini od 0 do 30 cm slabo kisele reakcije i veoma nezasićen baznim katjonima. Povećanje sadržaja organske materije za 282% (oko 2,8 puta). Pojava humusa, i ukupnog N u rekultisolu.</p>						

Profil rekultisola: Pr-37. Opis profila rekultisola i rezultati hemijskih osobina prosječnog uzorka

pH		Organska materija	Humus	Ukupni N	AL - P ₂ O ₅	AL - K ₂ O
H ₂ O	KCl	(%)			mg/100 g zemljišta	
6,1	4,5	4,06	0,7	0,04	4,2	8,4
Adsorptivni kompleks zemljišta				Klasa zemljišta po stepenu zasićenosti baznim katjonima		
S	H (T-S)	T	V (%)			
cmol/kg						
1,6	5,25	6,85	0,23	Veoma nezasićeno		

Sloj na dubini od 0 do 30 cm slabo kisele reakcije i veoma nezasićen baznim katjonima. Povećanje sadržaja organske materije za 249% (oko 2,5 puta). Pojava humusa, i ukupnog N u rekultisolu.

Pr-37

Jednogodišnje ratarske kulture
(2011-2015)

dp(A): 1-15 cm, smeđe boje sa sivim nijansama. Usljed višegodišnjeg provođenja osnovne obrade, inicijalni oranični horizont je pomiješan sa donjim spojem. Vidljivi biljni ostaci u procesu razlaganja. Struktura ilovasta.

dpIC: 10-30 cm, smeđe boje. Ima sitnijih odlomaka skeleta (frakcija 20–2 mm).



Profil rekultisola: Pr-38. Opis profila rekultisola i rezultati hemijskih osobina prosječnog uzorka

Pr-38

Polusložena TDS (*Festuca rubra* L. 50%, *Poa pratensis* L. 30%, *Lotus corniculatus* L. 10%, *Trifolium repens* L. 10%), 2011-14. godine, + ozimi tritikale 2014/15.

dp(A): 1-10 cm, smeđe i sive boje. Jasno uočljiv površinski inicijalni oranični horizont, sa prelazom u donji sloj. Vidljivi biljni ostaci u procesu razlaganja. Struktura pjeskovito ilovasta.

dpIC: 10-20 cm, narandžasto crvene boje sa sivim nijansama. Ima sitnijih odlomaka skeleta (frakcija 20–2 mm).



pH		Organska materija	Humus	Ukupni N	AL - P ₂ O ₅	AL - K ₂ O
H ₂ O	KCl	(%)		mg/100 g zemljišta		
6,8	5,6	5,08	0,1	0,01	0,7	6,5
Adsorptivni kompleks zemljišta				Klasa zemljišta po stepenu zasićenosti baznim katjonima		
S	H (T-S)	T	V (%)			
cmol/kg						
2,8	1,72	4,52	0,62	Veoma nezasićeno		

Sloj na dubini od 0 do 20 cm slabo kisele reakcije i veoma nezasićen baznim katjonima. Povećanje sadržaja organske materije za 311% (oko 3,1 puta). Pojava humusa, i ukupnog N u rekultisolu.

Početna faza diferencijacije horizonta označena je kroz formiranje mineralno-organogenog sloja, koji predstavlja inicijalni akumulativni humusni horizont rekultisola. U opisu profila,

njegova moćnost sekretala od 2 do 15 cm, u zavisnosti od primijenjenih tretmana. Drugi sloj otvorenih profila (do dubine 40 cm) jeste tehnogeni matični supstrat prvo za deposol (deposol ujedno predstavlja i površinski sloj deponovane otkrivke), a potom iz anastali rekultisol. Boja sloja je u direktnoj zavisnosti od boje i partije odloženog geološko-litološkog materijala koji gradi gornje slojeve unutrašnjeg odlagališta otkrivke sa kopa Raškovac. U sloju matičnog supstrata prisutna je heterogenost kada je upitanju boja i prisustvo frakcija skeleta i drugih umetaka u zemljištu (prevashodno manji komadi uglja). Građa proučavanih profila rekultisola je: dp(A)–dpIC. Silikatni rekultisol je formiran pri izvođenju direktne rekultivacije, malog je sadržaja hraniva i humusnih materija, pjeskovito-ilovaste teksture, kisele reakcije, osim na tretman i masa primijenje nomkalcifikacijom.

Heterogenost u pogledu kako fizičkih tako i hemijskih osobina jedna je od osnovnih karakteristika svih tehnogenih zemljišta. U opisu otvorenih profila rekultisola (profili 1, 2, 9, 10, 36, 37. i 38), prvi podsloj dpIC je karakterističan pomanje-više crvenkastoj boji sa žutim, smeđim i sivim nijansama. Svijetlo crvena i smeđa boja često ukazuju da su materijali oksidisani, niže pH vrijednosti i plodnosti, što se podudara sa tvrdnjama koje iznose Sheoran et al. (2010), i Sencidever and Ammons (2000), dok siva boja obično ukazuje na nedostatak oksidacije iluženja i ovi materijali mogu biti veće plodnosti i pH vrijednosti. Formirani površinski mineralno-organogenisloj dp(A) je crne, smeđe i sive boje, što predstavlja znak pobošljanja osnovnih parametara plodnosti istraživanog tehnogenog zemljišta, a konstatovano je usaglasnosti sa navodima Daniels-a (1999), prema kome tamno sivi i crni deposoli sadrže značajne količine organskih materija i često su veoma kiseli. Međutim, na kraju provedenog istraživanja, još uvijek se nije mogao utvrditi evolucionni period domomenta prelaska u fazu zrelosti, odnosno uspostavljanja dinamičke ravnoteže među svim pedogenetskim faktorima.

Započeti pedogenetski procesi u daljem periodu biološke rekultivacije i korišćenja rekultivisanog tehnogenog zemljišta će se nastaviti, a da ta je pretpostavka da bi ovo tehnogeno zemljište, po uspostavljanju ravnoteže između pedodinamičkih faktora i procesa, imalo svoj približni ekvivalent kod prirodnih zemljišta. Uzevši u obzir karakteristike formiranog rekultisola, ovaj tip tehnogenog zemljištana je više biodgovarao sirozemu na rastresitom supstratu (regosolu), koji je sistematizovan u klasi nerazvijenih automorfnih zemljišta. Oznaka profila klase nerazvijenih zemljištaje (A)–C. Ćirić (1991), u opisu ove klase, kao jedan od uzroka pojave inicijalnih nerazvijenih zemljišta navodi upravo aktivnosti čovjeka i novo stvorene površine na deponija marudarske jalovine.

Pri tome treba postaviti osnovna načela (ako se posmatra solum,kao u predmetnom istraživanju, na ilovasto-pjeskovitom materijalu odlagališta otkrivke): da se radi o kiseloj

reakciji (osim ako nije izvršena kalcifikacija), silikatno-mineralnog sastava (dominacija kvarca) i da će se vjerovatno zadržati profil sa samo dva horizonta, u početku (A)–IC, a kasnije A–IC. Vrijednost pH u rekultisolu i potencijalna kalcifikacija (sa analizom AKZ) može uticati da se izdvoji forma karbonatnog rekultisola ili da se zadrži silikatni podtip rekultisola. Takođe, za izdvajanje nižih pedosistematskih jedinica uvijek je značajan granulometrijski sastav, pa može da se govori o pjeskovito-ilovastom, ilovastom, glinovitom rekultisolu itd.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata istraživanja biološke rekultivacije deposola odlagališta otkrivke sa površinskog kopa Raškovac, Stanari, u kombinaciji sjetve travno-leguminozne smjese, i jednogodišnjih ratarskih kulturazaključuje se sljedeće:

- Hemijske osobine istraživanog deposolakarakteriše beskarbonatni i beshumusni supstrat, jaka nezasićenost baznim katjonima, srednja i jako kisela hemijska reakcija, nizak sadržaj organske materije i osnovnih biogenih elemenata.
- Provedena istraživanja pokazuju da korišćene agrofitocenoze i primijenjene agromeliorativne mjere utiču na pedogenezu mladog tehnogenog zemljišta, i obrazovanje rekultisola poboljšanih hemijskih osobina.
- Formirani rekultisol ima dva jasno uočljiva sloja: površinski organogeni sloj (debljine 2–15 cm) i sloj tehnogenog matičnog supstrata do 40 cm (dubina otvaranja profila), te je označen sa: dp(A)–dpIC.
- Površinski mineralno-organogeni sloj dp(A) je crno-sive boje, mrvičaste strukture i predstavlja inicijalnu fazu budućeg humusnog akumulativnog horizonta.
- U prvom podsloju tehnogenog matičnog supstrata (dpIC), konstatovano je manje učešće sitnih i krupnih odlomaka skeleta, te pojava umetaka sitnih komada uglja.
- Vrijednosti reakcije zemljišta u uzorcima tretmana sa primijenjenom kalcifikacijom mjerenih u H₂O, u kategoriji su neutralne i slabo alkalne reakcije, što znači da kalcifikacija daje pozitivne rezultate u istraživanim agroekološkim uslovima.
- Nakupljanje razloženih biljnih ostataka u površinskom sloju rekultisola, kao važno obilježje biološke rekultivacije, rezultiralo je prosječnim povećanjem sadržaja organske materije za 248% ili za približno 2,5 puta (prosječan sadržaj organske materije izmjeren u uzorcima deposola iznosio je 1,63% a u rekultisolu 4,05%).
- Pojava humusa je konstatovana u pet prosječnih uzoraka rekultisola, što je dokaz uspostavljene humifikacije organske materije, a kao direktna posljedica efikasnosti primijenjenih mjera biološke rekultivacije deposola.

- Sadržaj azota je utvrđen utri prosječna uzorka rekultisola utvrđenih na kraju petogodišnjeg istraživanja, što je rezultat započete mineralizacije organskog azota.
- Prosječnopovećanje sadržaja lakopristupačnog fosfora i kalijuma u rekultisolu, u odnosu na početno stanje, iznosi 422% ili oko 4 puta za P_2O_5 i 290% ili oko 2,9 puta za K_2O , ali se istraživanje rekultisola daljnje nalazi u kategoriji zemljišta vrlo siromašne plodnosti (srednja vrijednost iznosi 1,52 mg P_2O_5 /100 g zemljišta) i siromašne plodnosti (srednja vrijednost iznosi 5,98 mg K_2O /100 g zemljišta).
- Utvrđeno je povećanje sume adsorbovanih baznih katjona i ukupnog kapaciteta adsorpcije u uzorcima na tretmanima gdje je provedena kalcifikacija.
- Za potrebno vrijeme nastanka i formiranu tehnološku plodnost rekultisola od ključne je važnosti antropogeni uticaj, tj. primjena intenzivnih mjera rekultivacije i agrotehnike, koji u zavisnosti od vremenskog perioda, sa vladajućim klimatskim uticajem, djeluju na tehnogeni matični supstrat.

LITERATURA

- Camilli B, Dell'abate M T, Mocali S, Fabiani A, Dazzi C. 2016: Evolution of organic carbon pools and microbial diversity in hyperarid anthropogenic soils. *J. Arid Environ.* 124:318–331.
- Canfora L, Lo Papa G, Vittori Antisari L, Bazan G, Dazzi C, Benedetti A. 2015: Spatial microbial community structure and biodiversity analysis in 'extreme' hypersaline soils of a semiarid Mediterranean area. *Applied Soil Ecology* 93:120–129.
- Clark E V, Zipper C E. 2016: Vegetation influences near-surface hydrological characteristics on a surface coal mine in eastern USA. *Catena* 139:241–249.
- Ćirić M. 1991: Pedologija. "Svjetlost" Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo.
- Daniels W L. 1999: Creation and Management of Productive Mine Soils, Powell River Project Reclamation Guide Lines for Surface-Mined Land in Southes Virginia. <http://www.ext.vt.edu/pubs/mines/460.121/460.121.html>
- Đikić, A. (2010): Dinamika akumulacije organske materije u geogenim deposolima na području centralnog Kosova. Doktorska teza Univerzitet u Prištini, Poljoprivredni fakultet.
- Jozefowska A, Woś B, Pietrzykowski M. 2016: Tree species and soil substrate effects on spoil biota during early soil forming stages at afforested mine sites. *Applied Soil Ecology* 102:70–79.
- Knops J M H, Tilman D. 2000: Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. *Ecology* 81:88–98.

- Kozák J, Borůvka L, Janků J, Jakšik O. 2017: Restoration and development of soil cover on dumpsites. Degradation and revitalization of soil and landscape – Proceedings. Olomouc, Czech Republic; 53.
- Li M S. 2006: Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: a review of research and practice. *Sci. Total Environ.* 357:38–53.
- Malić, N. (2010): Sideracija kao agrotehnička faza eurekačivacije spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Raškovac – Stanari. Magistarska teza Univerziteta u Banjaluci, Poljoprivredni fakultet.
- Malić, N. (2015): Rekačivacija stanarskih deosola primjenom agromeliorativnih mjera i sjetvom travno-leguminoznih smjesa. Doktorska teza Univerziteta u Banjaluci, Poljoprivredni fakultet.
- Malić, N., Marković, M. (2012): Promjene pedoloških karakteristika deosola u rekačivaciji. *Agroznanje* 13 (3):463–474.
- Matlack G R. 2009: Long-term changes in soils of second forest following abandonment from agriculture. *J. Biogeography* 36:2066–2075.
- Mujačić R. 2013: Pedogeneza laporovitog odlagališta rudnika mrkog uglja "Đurđevik" pod uticajem voćarske rekačivacije. Doktorska teza Univerzitet u Sarajevu, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet.
- Mukhopadhyay S, Mastro R E, Yadav A, George J, Rama L C, Shukla S P. 2016: Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. *Sci. Total Environ.* 542:540–550.
- Němeček J, Macků J, Vokoun J, Vavříček D, Novák P. 2001: Taxonomický klasifikační systém půd ČR. ČZU A VŮMOP, Praha.
- Pellegrini S, García G, Peñas-Castejon J M, Vignozzi N, Costantini E A C. 2016: Pedogenesis in mine tails affects macroporosity, hydrological properties, and pollutant flow. *Catena* 136:3–16.
- Resulović H, Čustović H, Čengić I. 2008: Sistematika tla/zemljišta (nastanak, svojstva i plodnost). Univerzitet u Sarajevu, Poljoprivredno - prehrambeni fakultet Sarajevo.
- Resulović H, Čustović H. 2007: Technosols – Development, Classification and Use. *Agriculturae Conspectus Scientificus.* 72(1):13–16.
- Resulović H. 1982: Neke specifičnosti procesa pedodinamike i pedogeneze u deosolima. *Zemljište i biljka.* 31(3):357–363.
- Rohošková M, Penížek V, Borůvka, L. 2006: Study of anthropogenic soils on a reclaimed dumpsite and their variability by geostatistical methods. *Soil & Water Res.* 2:72–78.

- Sencindiver J C, Ammons J T. 2000: Minesoil genesis and classification. Chapter 23. *In*: Barnhisel R I, Daniels W L, Darmody R G. (Eds). Reclamation of drastically disturbed lands. Agronomy series No. 41. American Society of Agronomy, Madison; 595–613 p.
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., Poonia, P. (2010): Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, Vol. 3, Iss. 2, Article 13, 1–20.
- Sobočka J, Balkovič J, Bedrna Z. 2017: Specific position of technogenic soils in the MSCS 2014 and relation to the WRB 2014. Degradation and revitalization of soil and landscape – Proceedings. Olomouc, Czech Republic; 36.
- Škorić i A., Filipovski, G., Ćirić, M. (1985): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije. ANUBiH - Posebna izdanja, knjiga LXXVIII, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, Knjiga 13, Sarajevo.
- Toktar M, Lo Papa G, Kozybayeva F E, Dazzi C. 2016: Ecological restoration in contaminated soils of Kokdzhon phosphate mining area (Zhambyl region, Kazakhstan). *Ecological Engineering* 86:1–4.
- Wang X, Liu Y, Zeng G, Chai L, Xiao X, Song X, Min Z. 2008: Pedological characteristics of Mn mine tailings and metal accumulation by native plants. *Chemosphere* 72:1260–1266.

PROPERTIES OF PEDOGENETIC PROCESSES IN INTENSIFIED RECLAMATION AGROTECHNICAL MEASURES

Malić Nenad¹, Matko Stamenković Una²

¹EFT – Mine and Thermal Power Plant Stanari, R. Srpska (Bosnia and Herzegovina)

²EFT Trade Beograd, Srbija

Corresponding author: Malić Nenad, Mine and Thermal Power Plant Stanari, Stanari b.b. Stanari 74208, R. Srpska; Tel: +387-53-209-930
Email: mzmalic@gmail.com

The technogenic soil determines the artificially produced surfaces within the open pit zone, i.e. mining area. The formation and development of young technogenic soil represents the key aspect in the reclamation process and plays significant role in vegetation establishment. The paper shows the results of survey of agrotechnical and biological phase in reclamation conducted in the Stanari coal basin in Republika Srpska (BiH) at the plateau of internal disposal area for overburden from Raskovac. The paper reflects the results of development as well as basic chemical properties of Rekultisol gained in five-year survey period. The factor of established vegetation covers two groups of agrofitocenosis: seeding grasslands and one-year field crops. The pedological analysis encompasses the lab research of basic chemical properties of Deposol and Rekultisol (chemical reaction, organic matter and humus content, soil

adsorptive property, P_2O_5 , K_2O and total N content) along with the Rekultisol profile opening to the depth of 40 cm in late 2013 and 2015. The surveyed Deposol is loosely bound loam substrate with traces of clayish elements. The evolution of Deposol into Rekultisol began in the period of five-year survey of reclamation process due to the effectiveness of applied agrotechnics and environmental factors. The upper (surface) layer in initial horizon differentiation phase is distinctive. There are two layers of surveyed technogenic soil explored in the open Rekultisol profiles: dp(A)–dpIC. Formed surface mineral-organogenic layer dp(A) is black and gray indicating the improvement of the basic parameters of researched technogenic soil fertility. Description of Rekultisol open profiles contains lines on the first sublayer dpIC of reddish color with yellow, brown and gray shades.

Key words: agrofitocenosis, tehnogenic soil, pedogenesis, initial humus horizon

Primljeno 29.08.2018

Primljeno sa ispravkama 17.09.2018

Odobreno 24.09.2018