

**Предмет: Извештај Комисије за оцену урађене докторске дисертације
Јасмине Лилић, дипл.инж.пољ.**

Одлуком Наставно-научног већа Пољопривредног факултета Универзитета у Београду број: 290/9-6.7 од 24.06.2015. године, именована је Комисија за оцену урађене докторске дисертације кандидата Јасмине Лилић, дипл. инж. пољ. под насловом “Утицај рекултивације на карактеристике техносола рудника бакра Бор”. На основу увида, прегледа и анализе докторске дисертације Комисија у саставу: др Невенка Ђуровић, ванредни професор Пољопривредног факултета у Београду, др Мирко Недић, доцент Пољопривредног факултета у Београду, др Блажо Лалевић, доцент Пољопривредног факултета у Београду, др Јасмина Стевановић, научни саветник Института за хемију, технологију и металургију у Београду и др Жељко Целетовић, научни сарадник Института за примену нуклеарне енергије у пољопривреди у Београду, подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Докторска дисертација Јасмине Лилић, дипл. инж. пољ. под насловом “Утицај рекултивације на карактеристике техносола рудника бакра Бор” написана је на укупно 144 странице у оквиру којих се налази 45 табела, 10 графикана и 13 слика. Цитирано је 177 извора литературе. Докторска дисертација поред основног текста садржи насловну страну на српском и енглеском језику, податке о ментору и члановима Комисије, резиме на српском и енглеском језику и садржај.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод (1-3. стр.); Преглед литературе (4-26. стр.); Материјал и методе (27-44. стр.); Резултати (45-92. стр.); Дискусија (93-111. стр.); Закључци (112-115. стр.); Литература (116-130. стр.); Прилози (131-144. стр.).

2. ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат Јасмина Лилић дипл. инж. пољ. је у поглављу *Увод* указала на проблеме деградације земљишта до којих долази због експлоатација руда и формирања рударских јаловишта. Рударска јаловишта деградирају површине на којима су формирана, и садрже мање или веће количине токсичних материја које их чине непогодним за раст биљака. С друге стране, те штетне материје могу ветром и водом доспети у остале делове животне средине.

Земљишта настала на рударским депонијама су присутна од давнина. Њихове површине су нагло порасле у новије време, а тиме је порасло и научно интересовање за њих. Код образовања ових земљишта доминантан је утицај антропогеног фактора, и како се њихове особине значајно разликују у поређењу са природним земљиштима,

јавила се и потреба њиховог детаљнијег проучавања. У најновијој верзији Светске референтне базе за земљишне ресурсе (WRB, 2006) у класификацију земљишта уведене две нове референтне групе земљишта, настале под доминантним утицајем човека: антросоли (Anthrosols) и техносоли (Technosols). Техносоли су земљишта чију генезу и особине карактерише пре свега техничко порекло, као резултат индустријских, рударских и урбаних активности.

У техносоле спадају и земљишта на подручју рудника у Бору. До изражених процеса деградације земљишта дошло је и током вишедеценијске експлоатације руде бакра. С једне стране, створени су површински копови а, са друге, јаловишта откопане откритке (коповска јаловишта), као и флотацијска јаловишта настала процесом прераде руде бакра поступком флотирања.

Да би се смањио ризик од загађења животне средине и деградиране површине привеле корисној намени, примењују се различите методе рекултивације. У том циљу је на јаловиштима рудника бакра Бор изведена рекултивација: на једном делу коповског јаловишта "Високи планир" од 1979. до 1998. године засађена су стабла више врста листопадног дрвећа, док на другом делу јаловишта није примењена рекултивација. На један део флотацијског јаловишта "Поље 2" је 1991. године у циљу рекултивације нанесен земљишни материјал из позајмишта, а затим су на деловима те површине примењене мере биолошке рекултивације сејањем трава и садњом дрвећа. На преосталом делу флотацијског јаловишта није извршена рекултивација.

Због тога је као основни циљ ове дисертације наведено утврђивање промена у карактеристикама површинског слоја коповског и флотацијског јаловишта које су настале као последица примене мера рекултивације и доношење релевантних закључака о утицају поменутих мера на земљиште на рударским депонијама, као и сличним површинама депоновања отпада.

Сагледавање улоге природних и антропогених фактора (рекултивације) у образовању ове групе земљишта и њихових карактеристика допринело би вредновању до сада учињеног, као и планирању даљих мера рекултивације и заштите техносола у будућности.

У поглављу *Преглед литературе* цитиран је велики број истраживача у земљи и иностранству који су се бавили проучавањем рекултивације земљишта.

Преглед литературе је представљен кроз следећа потпоглавља: *Деградација простора као последица рударења; Рекултивација деградираних површина; Могуће технике рекултивације; Примери савремених рекултивација; Земљишта деградираних простора; Деградација земљишта површинском експлоатацијом и њихова рекултивација у Србији.*

У првом потпоглављу кандидат даје осврт на површинску и подземну експлоатацију минералних сировина и технолошке поступке флотације као полазну тачку за процесе деградације земљишта, нарочито са становишта експлоатације руде бакра. У другом потпоглављу обрађена је проблематика рекултивирања земљишта као скуп мера које имају за циљ стварање продуктивних земљишта од оних оштећених рударством, индустријом, грађевинарством и другим начинима. Није неопходно да се комплексом рударско-техничких, инжењерских, пољопривредних и шумарских радова који се предузимају у одређеном периоду, земљишта врате у првобитно стање, већ да се доведу до стања погодног за пољопривреду и шумарство, рекреацију, различите форме чувања воде, стамбену изградњу и друге намене, односно, да одабрани вид коришћења земљишта задовољи потребе локалног становништва, природних услова, укључујући и карактеристике новоформираних земљишта и пост-експлоатационе стратегије. У земљама са развијеном регулативом, стандарди у области рекултивације су јасно дефинисани и имају пресудну улогу у у избору пост-експлоатационог коришћења

земљишта. У трећем потпоглављу је наведено је да су технологије рекултивације земљишта засноване на ископавању, транспорту и депоновању контаминираних земљишта веома ефикасне, али и скупе за извођење. Кроз преглед постојеће литературе приказани су ефекти различитих начина рекултивације, који се примењују на оштећеним и контаминираним земљиштима (употреба вегетације за уређење, стабилизацију и контролу загађења, испирање земљишта сепарацијом честица по величини, хемијске екстракције, методе засноване на физичким, хемијским или биолошким техникама *ex situ* и *in situ*, природна ремедијација уз употребу адитива, прекривање загађеног места асфалтом или другим непропусним материјалима, покривање места незагађеним земљиштем, стабилизација земљишта тј. фиксирање загађивача на стабилним местима мешањем или убризгавањем у земљишта неорганских или органских агенаса, витрификације - имобилизације микроелемената - загревањем контаминираних земљишта до 2000 С°, итд.), док су у следећем потпоглављу наведени примери различитих техника рекултивације. У потпоглављу *Земљишта деградираних простора* дат је преглед истраживања земљишта типа техносол. Наведено је да техносоли укључују земљишта која су под доминантним или под снажним утицајем техногених материјала, нпр. земљишта проистекла из отпада (депоније, муљ, пепео, рударска јаловишта и пепелишта). Дефинишу се као земљишта која садрже 20% или више техногених материјала у површинском слоју од 100 cm. У великом броју радова проучавани су специфични аспекти њихових биолошких, хемијских или физичких особина, културолошко наслеђе и географија, ерозија, контаминација, таксономија. Много мањи број радова бави се њиховом педогенезом. У потпоглављу *Деградиција земљишта површинском експлоатацијом и њихова рекултивација у Србији* кандидат даје осврт на литературу која се односи на рекултивацију великих и плитких површинских копова у Србији, рекултивацију великих и дубоких површинских копова у Србији, као и рекултивацију малих површинских копова.

Поглавље ***Материјал и методе*** подељено је на четири потпоглавља: *Подручје истраживања; Теренска истраживања земљишта; Лабораторијска истраживања земљишта; Статистичка обрада података.*

У првом потпоглављу приказан је географски положај, климатске карактеристике подручја и детаљно описана јаловишта на којима су изведена истраживања. Подручје истраживања је на надморској висини око 400 m. Околину Бора чине планине које су огранци Карпата, а рељеф карактерише присуство речних долина многобројних мањих водотокова. Клима овог подручја је умерено континентална до планинска, чије су карактеристике кратка топла лета и оштре дуге зиме.

У опису проучаваних јаловишта наведено је да су рударство и металургија основне привредне активности у Борској општини, али су и основни узроци и извори деградације земљишта. Поред испуштања отпадних гасова из топионице, отварањем површинских копова трајно је уништено земљиште због самих копова, формирања одлагалишта отквивке и флотацијских јаловишта. У већој или мањој мери, оштећена су земљишта готово свих села општине Бор. Површине оштећеног земљишта процењују се на преко 25.500 ha, што чини 60,6% пољопривредног земљишта на поменутом подручју. Процењено је да је током 100 година рударења у Бору и ближој околини одложено преко 500.000.000 t јаловине са површинских копова и преко 200.000.000 t флотацијске јаловине.

У оквиру истраживања која су предмет ове докторске дисертације испитивана су два јаловишта Рудника бакра - Бор: коповско јаловиште старог површинског копа Бор – Високи Планир и старо борско флотацијско јаловиште – Поље 2. На оба јаловишта јаловина се не депонује више од 20 година.

Откопани простор затвореног (експлоатација је завршена 1993.г.) површинског копа Бор је дубине око 400 m. Због велике количине откривке која је одлагана при експлоатацији Борског површинског копа формирано је јаловиште Високи планир. Одлагалиште је укупне површине 276,59 ha. Косе површине чине 157,54 ha, а равне површине 119,04 ha, висине око 100 m.

У периодима 1979-1986. и 1992-1998. године на деловима јаловишта је извршена биолошка рекултивација садњом различитог садног материјала у јаме. Компост је додаван у сваку јаму у коју су сађене по две саднице дрвећа. У вегетационом покривачу присутне су бреза (*Betula pendula* L.), дивља крушка (*Pyrus pyraeaster* L.) и грмови из породице *Rosaceae* дивља купина и дивља ружа (*Rubus caesus* L. и *Rosa canina* L.). Међу врстама из породице *Poaceae* доминира власасто просо (*Panicum spp.*) и пиревина (*Agropyrum repens* L.).

Друго јаловиште које је предмет истраживања у овом раду је флотацијско јаловиште Поље 2, формирано у периоду 1933-1987. године. Флотацијско јаловиште лоцирано је у долини Борског потока. Поступак флотацијске прераде руде подразумева да се она дробе и меље, тако да се на крају процеса издваја концентрат бакра и јаловина која је у облику воденог раствора – пулпе. Свако флотацијско јаловиште, чак и када није активно, у великој мери угрожава околину. То се односи на заузимање земљишта на коме је формирано и загађење површинских и подземних вода, као последице процеђивања атмосферских падавина. Велику опасност за животну средину представља и разношење површинског слоја јаловине ветром. Поље 2 је неправилног облика, површине око 50 ha, од чега је 7,7 ha под водним огледалом. Процењује се да је у њему око 23.000.000 t јаловине. Ради се о материјалу ситног гранулометријског састава, насталом експлоатацијом руде бакра помешаним са реагенсима у процесу флотирања. Међу минералима у јаловини доминира пирит, а поред њега ту су и халкопирит, ковелин, анаргит, халкозин, молибденит, магнетит, хематит, лимонит, малахит итд. Од нерудних минерала најзаступљенији су силикати и кварц. На јужном делу јаловишта је 1991. на површини од 16,42 ha, навежен слој земљишта дебљине у просеку 40 cm на коме је на једном делу засејана трава, а на другом делу су засађене саднице дрвећа. Године 1996. је изведена садња дрвенастих врста и сетва трава на новој нерекултивисаној огледној површини од 25 aри. Вегетациони покривач је сличан као на коповском јаловишту.

У потпоглављу *Теренска истраживања земљишта* наведено је да су истраживањима у оквиру ове докторске дисертације обухваћена земљишта два јаловишта: а) коповског јаловишта "Високи планир", и то површине обухваћене рекултивацијом, нерекултивисане површине јаловишта, као и околно природно земљиште у непосредној близини коповског јаловишта, б) флотацијског јаловишта "Поље 2", укупне површине око 50 ha и то површине обухваћене рекултивацијом, нерекултивисане површине јаловишта, као и контролно природно земљиште из околине јаловишта које је послужило као позајмиште при рекултивацији.

Теренска истраживања су обављена 2010. године. Отворено је 4 педолошка профила до дубине од 100 cm. Описани су педогенетски фактори и екто и ендоморфолошке особине земљишта. Узети су узорци земљишта у нарушеном и ненарушеном стању (цилиндрима од 100 cm³) за лабораторијска испитивања. На коповском јаловишту су отворени профили на заравњеним површинама изван рупа у које је сађено дрвеће. Репрезентативни профили су отворени на местима где је јаловина имала различиту боју и скелетност. На флотацијском јаловишту један профил је отворен на рекултивисаном делу земљишта (број 4), а други на рекултивисаном делу на који је ветар нанео флотацијски материјал са нерекултивисаног дела јаловишта (број 3). Избор профила на оба јаловишта је обављен у складу са стањем на терену односно у

циљу сагледавања успешности примењених мера рекултивације техносола на јаловиштима рудника бакра након дужег временског периода.

Како се очекивало да се последице рекултивације јаловишта најбоље уочавају у површинском слоју, поред узорака узетих из репрезентативних профила, на сваком од испитиваних јаловишта су узети и појединачни узорци у нарушеном стању из површинског слоја. На коповском јаловишту узето је 30 појединачних узорака, а на флотацијском 32 узорка до дубине 0-25 cm. Узорци су узети са рекултивисаног и нерекултивисаног дела оба јаловишта на растојању од око 20-30 m. Због боље оцене стања земљишта на нерекултивисаном, а нарочито на рекултивисаном делу оба јаловишта, вршено је њихово поређење са природним земљиштима. За поређење са земљиштима коповског и флотацијског јаловишта узето је пет појединачних површинских узорака (0-25 cm дубине) из природних земљишта у околини јаловишта у циљу добијања поузданијих информација о утицају мера рекултивације на техносоле рудника бакра.

Боја земљишта је одређена према Munsell атласу боја. У лабораторијским условима су одређене најважније физичке и хемијске особине техносола: механички састав, структурни састав, специфична густина земљишта, запреминска густина земљишта, укупна порозност, коефицијент филтрације, водни капацитети земљишта, рН, садржај органског угљеника, капацитет катјонске измене (СЕС), разменљива и хидролитичка киселост, укупни капацитет абсорпције катјона и степен засићености земљишта базним катјонима, групни састав хумуса, оцена стања хумуса, елементарни састав ситног земљишта. Од микробиолошких особина анализаране су: бројност укупних бактерија, бројност гљива, бројност актиномицета, бројност *Azotobacter sp.*, активност дехидрогеназе и активност фосфомоноестеразе.

Лабораторијске анализе земљишта изведене су на Пољопривредном факултету у Београду, Институту за нуклерне науке „Винча“, Институту за земљиште у Београду и Техничком факултету у Бору.

Добијени експериментални подаци обрађени су математичко-статистичким методама коришћењем софтверских пакета StartSoft Statistica 7.0 i IBM SPSS Statistics 19. За анализу података су коришћене: дескриптивна статистика, корелациона анализа, т-тест, (за статистичку значајност од 95 и 99%), анализа принципијелних компонената (РСА - principal component analysis).

У поглављу **Резултати** дат је јасан приказ резултата до којих је кандидат дошао током истраживања, документован табелама и графиконима.

Земљишта испитивана у овој докторској дисертацији представљају веома слабо развијена техногена земљишта, образована на два типа јаловишта бакра чији је један део рекултивисан.

Ово поглавље је подељено на 4 потпоглавља: *Коповско јаловиште "Високи планир"*; *Флотацијско јаловиште "Поље 2"*; *Поређење земљишта на јаловиштима и контролних природних земљишта*; *Поређење земљишта коповског и флотацијског јаловишта*.

У оквиру првог потпоглавља издвојено је 5 нижих поглавља у којима су приказани резултати истраживања морфолошких, физичких, хемијских, микробиолошких карактеристика техносола коповског јаловишта, као и поређење земљишта коповског јаловишта и контролног природног земљишта.

На коповском јаловишту отворена су два профила, на местима где је јаловина имала различиту боју и скелетност. Поред тога, узето је 30 површинских узорака у слоју 0-25 cm. Земљишта коповског јаловишта су двослојевита. Распоред слојева је последица процеса депоновања јаловине са рударских копова (тзв. откривке) различитих карактеристика.

Према класификацији Светске референтне базе за земљишне ресурсе (WRB, 2006) земљиште у првом профилу коповског јаловишта је класификовано као *Spolic Technosol (Phytotoxic, Skeletic)*, а земљиште профила 2 као *Spolic Technosol (Phytotoxic, Endoskeletal)*. Земљишта у оба профила коповског јаловишта су јако скелетна, а по текстурној класи песковите иловаче по целој дубини профила. Површински узорци су такође веома скелетни, и лакшег механичког састава, 50% су песковите иловаче, 37% иловачи пескови и 3% иловаче.

Земљишта су лепљива и пластична, слабо тврде до тврде конзистенције. Структура земљишта је средње изражена. Међу структурним агрегатима преовлађују водонепорни микроагрегати <0,25 mm. Према MWD (вредност просечног пречника водоотпорних агрегата) највећи део (40%) површинских узорака је средње стабилне структуре, следе узорци нестабилне структуре (33%), затим стабилне (17%), док је веома стабилне структуре 7%, а веома нестабилне 3% површинских узорака. Индекс структурности, SI (SI<5,3%) указује на структурно деградирана земљишта на чак више од 90% испитиваних узорака оба јаловишта.

Земљишта првог и другог профила су порозна у површинском слоју, (52,94 и 53,22% респ.) док се са дубином порозност смањују. У доњем слоју првог профила укупна порозност је је 43,55% а другог профила 51,57%. Запреминска маса (густина сувог земљишта) варира у интервалу 1,16-1,40 g cm⁻³ а специфична маса (густина чврсте фазе земљишта) у интервалу 2,42-2,54 g cm⁻³. Вредности пољског водног капацитета варирају у интервалу 11,91-25,40 теж.%, а влажности венућа 5,51-11,79 теж.%.

Земљишта су пропусна за воду, нарочито у површинском делу оба профила (кофицијент филтрације 0,00774 cm s⁻¹ на првом и 0,02108 cm s⁻¹ на другом профилу), док се у другом слоју коефицијент филтрације смањује на оба профила (0,00066 и 0,00385 cm s⁻¹ респ.). Реакција земљишта у оба профила је екстремно кисела. У површинском слоју првог профила рН у H₂O је 3,59 а рН у KCl 3,20, док је у потповршинском слоју рН у H₂O 3,12 а рН у KCl 2,92. У другом профилу површински хоризонт има рН у H₂O 4,29 а у KCl 3,99, док је у потповршинском слоју рН у H₂O 5,52 а рН у KCl 5,22. На коповском јаловишту 60% површинских узорака земљишта има екстремно киселу реакцију, 30% слабо до веома јако киселу. Садржај хумуса је веома низак у оба слоја профила 1. У профилу 2 садржај хумуса је такође веома низак у површинском слоју, док је у потповршинском већи у поређењу са површинским. По саставу, то је фулватно-хуматни тип хумуса.

Земљишта оба профила карактеришу висока разменљива и хидролитичка киселост. Истовремено су изражене ниске вредности суме адсорбованих базних катјона и ниске вредности степена засићености земљишта базним катјонима.

Поређењем садржаја макроелемената у земљиштима испитиваног коповског јаловишта са просечним најнижим и највишим вредностима измереним у површинском слоју природних незагађених земљишта, може се закључити да се он код свих узорака уклапа у наведени опсег. Међутим, садржај већине микроелемената, тешких и токсичних метала и металоида је изнад горње границе поменутог опсега. Највећа одступања се запажају код Cu и As. Поређење садржаја микроелемената са максимално дозвољеним концентрацијама, (МДК за Cu износи 100 mg kg⁻¹), дефинисаних националном регулативом (Службени гласник РС, 1994), види се да су у коповском јаловишту повећане концентрације Cu у профилу 1 у површинском слоју, (122 mg kg⁻¹) а у профилу 2 у потповршинском слоју (127 mg kg⁻¹). Концентрација As је изнад МДК (25 mg kg⁻¹) у свим слојевима оба профила на коповском јаловишту (46,3-119 mg kg⁻¹). Следећа карактеристика коповског јаловишта је да нема правила по питању кретања концентрација макро и микроелемената, тешких и токсичних метала и металоида по

дубини (садржај већине елемената се у једном профилу повећава са дубином, а у другом се смањује).

Јаловинско земљиште је слабо изражене биолошке активности. Регистровано је присуство мало ситног корења у површинском слоју. И микробиолошка активност ових земљишта је веома ниска, са малим бројем укупних бактерија и спорогених бактерија. *Azotobacter sp.* се појављује само у површинском слоју профила 2, а актиномиците се уопште не појављују.

Бројност укупних бактерија је у позитивној корелацији са садржајем глине ($r=0.72$) и Cu ($r=0.86$). *Azotobacter sp.* и активност алкалне фосфоестеразе (PME) такође показује позитивну корелацију са садржајем глине ($r=0.88$). Активност киселе фосфоестеразе (PME) је у позитивној корелацији са садржајем Fe ($r=0.81$). Активност дехидрогеназе у земљишту (ДНА) креће се у интервалу $2,78-8,78 \mu g TPF g^{-1} h^{-1}$. Активност ДНА се смањује са повећањем бројности свих група микроорганизама, али та зависност није статистички значајна. Наведене корелационе зависности се односе на земљишта оба јаловишта.

Поређењем узорака са јаловишта и околног земљишта утврђена је значајна разлика у њиховим физичким и хемијским карактеристикама. Земљишта јаловишта имају значајно већи садржај крупног песка, мањи садржај праха, глине и хумуса, а такође имају ниже вредности рН и нижи капацитет катјонске измене (СЕС). Вредности разменљиве и хидролитичке киселости се не разликују значајно између земљишта коповског јаловишта и контролних природних земљишта.

У потпоглављу *Флотацијско јаловиште "Поље 2"* су на сличан начин као и за коповско јаловиште приказан резултати истраживања морфолошких, физичких, хемијских, микробиолошких карактеристика техносола флотацијског јаловишта, као и поређење земљишта флотацијског јаловишта и контролног природног земљишта.

Као што је наведено, рекултивација једног дела флотацијског јаловишта односила се на реконструкцију површинског слоја земљишта навожењем природног хумусног слоја са позајмишта и озелењавањем површина садњом дрвећа и сејањем трава. Као резултат примењених мера формирано је техногено земљиште са А хоризонтом на површини испод којег се налази слој флотацијске јаловине.

На једном делу флотацијског јаловишта заступљено је земљиште са трослојним профилем. Ове површине репрезентује профил број 3 који на површини садржи слој јаловине, обележен као С1, коју је ветар нанео са nereкултивисаног дела флотацијског јаловишта и он је дубине 0-15 cm. Испод тог слоја налази се хумусни хоризонт А дубине 15-60 cm, (формиран мерама рекултивације), а испод њега је слој јаловине, обележен као С2. Двослојни профил (профил 4) репрезентује површину флотацијског јаловишта на којој је изведена реконструкција површинског слоја земљишта, навожењем природног хумусног слоја са позајмишта и озелењавањем површина садњом дрвећа и сејањем трава. Као резултат примењених мера формирано је техногено земљиште са А хоризонтом на површини (0-45 cm) испод којег се налази слој флотацијске јаловине.

Према WRB класификацији земљиште у профилу 3 флотацијског јаловишта је класификовано као *Spolic Technosol (Phytotoxic, Areninovic)*, а земљиште профила 4 као *Spolic Technosol (Phytotoxic)*.

На профилу 3 хумусни хоризонт има јако изражену структуру (структурни агрегати су зрнасти ситни до средње величине), док су оба слоја јаловине, С1 и С2, без изражене структуре. Хумусни хоризонт је тврд, лепљив је и пластичан. У профилу 3 земљиште је по текстурној класи иловаста песак у С1 слоју а иловача у А хоризонту и С2 слоју. У профилу 4, А хоризонт је песковито глиновита иловача, а С2 слој иловаста песак. Скелета (шљунка) има мало у оба профила. Запреминска маса варира у

интервалу 1,14-1,29 g cm⁻³ и са дубином се повећава. Специфична маса је доста уједначена и износи 2,45-2,61 g cm⁻³. Укупна порозност је велика целом дубином оба профила и износи 48,16-55,81%. Коефицијент филтрације варира у интервалу 0,00316-0,01095 cm s⁻¹. Вредности пољског водног капацитета варирају у интервалу 5,2-26,38 теж.%, а влажности винућа 0,27 до 10,55 теж.%.

Сви хоризонти репрезентативних профила су екстремно кисели. На профили 3 рН у Н₂О варира у интервалу 3,52-4,17, а рН у КСl у интервалу 3,22-3,69. На профили 4 рН у Н₂О варира од 3,82 до 4,16 а рН у КСl од 3,34 до 3,40. Када су површински узорци земљишта флотацијског јаловишта у питању, 20 % њих је екстремно кисело, 70% слабо до веома јако кисело а 10% је неутрално.

Поређење садржаја макроелемената у земљиштима испитиваног флотацијског јаловишта са просечним најнижим и највишим вредностима измереним у површинском слоју природних незагађених земљишта показује да се садржај свих макроелемената уклапа у наведени опсег. Упоређивањем садржаја Си са максимално дозвољеним концентрацијама дефинисаних националном регулативом, види се да су у флотацијском јаловишту повећане концентрације Си у профили 3 у потповршинском слоју, (223 mg kg⁻¹) а у профили 4 у површинском слоју (143 mg kg⁻¹). Концентрација Аs је изнад МДК у свим слојевима оба профила на флотацијском јаловишта (36,7-110,0 mg kg⁻¹). Као и код коповског јаловишта, на флотацијском јаловишту нема правила по питању кретања концентрације макро и микроелемената, тешких и токсичних метала и металоида по дубини.

Микробиолошка активност земљишта флотацијског јаловишта је веома ниска. Број укупних бактерија и спорогених бактерија се дубином смањује. *Azotobacter sp.* се појављује само у А хоризонтима оба профила, а актиномицете се уопште не појављују. Гљиве се јављају у прва два слоја профила 3 и површинском слоју профила 4. Као и код коповског јаловишта, активност фосфомоноестеразе (РМЕ) и дехидрогеназе (ДНА) са дубином нема једнако кретање у оба профила, у једном се повећава а у другом смањује.

У поређењу са околним природним земљиштем, површински узорци земљишта флотацијског јаловишта, имају значајно већи садржај ситног песка и водонеотпорних микроагрегата <0,25 mm, а значајно мањи садржај глине, крупнијих водоотпорних агрегата (фракције >3, 3-2 и 2-1 mm), односно укупних водоотпорних агрегата >0,25 mm и хумуса. У њима су такође значајно ниже вредности праметара MWD и SI, затим рН у Н₂О и КСl, као и вредности капацитета катјонске измене. Ове резултате поткрепљује и анализа принципијелних компоненти (РСА - principal component analysis). Наиме, статистичка анализа над резултатима мерења, примењена у виду анализе принципијелних компоненти додатно потврђује закључке и резултате до којих је кандидат дошао теренским и лабораторијским истраживањима над прикупљеним узорцима. РСА се заснива на одређивању сопствених вектора коваријационих матрица над добијеним векторима мерења. Основни циљ РСА је да се издвоје правци у вишедимензионалном простору који више немају физикалност изведена из мерења али зато показују да ли и у којој мери су својства земљишта значајно промењена применом одговарајућих агротехничких мера.

Параметри који карактеришу групу узорака и са коповског и са флотацијског јаловишта су: скелет, крупан и ситни песак, водонеотпорни микроагрегати <0,25 mm, као и две фракције најситнијих водоотпорних агрегата (0,25-0,5 и 1-0,5 mm).

Параметри који карактеришу групу контролних природних узорака у околини коповског јаловишта су све остале крупније фракције водоотпорних агрегата, MWD, глина и хумус.

Параметри који карактеришу групу контролних природних узорака са околних земљишта флотацијског јаловишта су: глина, MWD, хумус и најкрупнији водоотпорни структурни агрегати >3mm.

У поглављу *Дискусија* су на прегледан начин, компаративно, приказани и повезани резултати добијени током истраживања са резултатима других домаћих и страних аутора. Ово поглавље је подељено на пет потпоглавља, која се односе на морфолошке, физичке, хемијске, микробиолошке особине земљишта и предлог мера заштите и рекултивације у будућем периоду.

Најважнији резултати истраживања говоре да су земљишта коповског јаловишта веома скелетна по целој дубини што негативно утиче на остале физичке карактеристике ових земљишта и на успевање вегетације. С друге стране, земљишта флотацијског јаловишта нису скелетна, и то је значајна разлика у поређењу са земљиштима коповског јаловишта. Разлике у скелетности ова два јаловишта директна су последица начина њиховог настанка, односно различитих технолошких поступака којима је настала јаловина на овим одлагалиштима. Земљишта на оба јаловишта имају значајно мањи садржај глине и неповољније структурне карактеристике у поређењу са контролним природним земљиштима. Резултати анализе принципијелних компоненти и т-теста, указују на нешто боље карактеристике структурних агрегата у земљиштима коповског у поређењу са земљиштем флотацијског јаловишта, вероватно зато што је земљиште коповског јаловишта прошло кроз мање измене у току рударских активности. Наиме, земљишта коповског јаловишта су само ископавана, премештана и депонована на другом месту, док су земљишта флотацијског јаловишта настала као нуспроизвод процеса флотирања руде бакра, која подразумева примену реагенса. Ако се посматра флотацијско јаловиште, мерама рекултивације флотацијског јаловишта наношењем површинског слоја са позајмишта побољшане су структурне карактеристике тог дела јаловишта у поређењу са потпуно неструктурним нерекултивисаним делом.

Поред високог садржаја скелета, најважније особине испитиваних земљишта су низак капацитет катјонске измене и садржај органске материје, кисела реакција, високе концентрације метала (који потичу од откривке и минерала који изграђују рудна тела). До сличних запажања дошло се у бројним истраживањима у Шпанији, САД, Чилеу, Немачкој, Кини.

Ниски садржај хумуса прати и његов неповољни састав. На оба јаловишта однос Ch:Cf је шири него на контролним природним земљиштима. Значајно повећање садржаја фулво киселина је вероватно последица деградације у веома киселој средини и њиховог слабијег испирања услед климатских прилика (просечна годишња сума падавина је релативно ниска - око 550 mm).

Поред киселе реакције која карактерише ова земљишта, висока концентрација Cu и As у земљиштима оба испитивана јаловишта рудника бакра Бор је један од ограничавајућих фактора за боље успевање вегетације на рекултивисаним површинама као и "спонтано" ширење вегетације на нерекултивисаним површинама. Спроведене мере рекултивације нису утицале на смањење концентрације Cu и As.

Ниска микробиолошка активност земљишта оба испитивана јаловишта рудника бакра Бор је резултат неповољних физичких (доминација фракције скелета и/или песка) и поготову хемијских карактеристика (екстремно кисела и веома кисела реакција земљишта са ниским садржајем хумуса). Пошто бактерије као и гљиве имају јасне захтеве према рН сви третмани који би променили киселост земљишта мењали би и однос различитих микробних популација што је важан критеријум при избору будућих метода рекултивације.

У оквиру рекултивације деградираних површина потребно је применити техничке и биолошке мере.

Техничке мере директно утичу на повећање ерозионе стабилности косина, доприносе бржем постизању и одржавању трајне стабилности јаловишта и стварају добру основу за спровођење биолошких мера рекултивације.

Биолошке мере подразумевају примену пољопривредних и шумских мелиорација, које доприносе стабилности и одржавању рекултивисаних површина, али су много значајније са аспекта поправке земљишта, ревитализације простора и успостављања специфичних биоценоза. Значајну улогу у биолошким мерама имају хортикултурне врсте: дрвеће, жбуње и травна вегетација. Многи аутори истичу пресудну улогу вегетације у развоју техногених земљишта, али и проблеме због којих је отежано њено увођење и развој на оваквим деградираним земљиштима. Различите нежељене особине ископаног материјала, као што су еродибилност, токсичност, неодговарајући водни режим или дефицит хранива, могу да смање раст биљака на пострударским површинама.

Уопштено, пре формирања било које врсте јаловишта, прва фаза техничких мера је стабилизација подлоге за будуће одлагалиште и њено планирање, одводњавање и постављања дренажног система. Након ове фазе, насипа се јаловина и фазно формира одлагалиште. Пошто је Високи планир неплански изведено јаловиште, овај део техничке рекултивације је изостао и немогуће га је надокнадити. Оно што је могуће урадити је планирање и равнање хоризонталних површина а затим примена мера биолошке рекултивације.

На Пољу 2 предлаже се изравнавање површине и навожење слоја земљишта са позајмишта на целој површини. Уколико би се за ту намену користила мешавина земљишта и јаловине, трошкови извођења рекултивације би били знатно смањени, а проблем изналажења позајмишта са довољном количином земљишта за насипање овако велике површине која се рекултивације умањен.

За биолошку рекултивацију оба јаловишта од посебног значаја је припрема терена под којом се подразумева низ агротехничких мера – калцизација, фертилизација и дубока обрада. Примењене агротехничке мере имају за циљ стварање иницијалних услова за прираст засада и активирање процеса формирања земљишног покривача на јаловини.

За примену мере калцизације борских јаловишта веома је значајно што се у овај процес може укључити погон за производњу креча „Заграђе“ који се налази у близини самог града и који поседује довољне капацитете за овакве послове.

У оквиру мера поправке предложено је да се пре садње примене мере хумизације, као и припрема и обрада места за садњу. На коповском јаловишту од великог је значаја ископавање јама адекватних димензија за садњу садница. Након садње, у току прве и друге године, више пута треба окопавати око садница уз обавезно наводњавање и коришћење прихране минералним ђубривима.

Коришћење контејнерских садница је препоручљива, јер може да се продужи сезона пошумљавања, односно садња у пролеће може да почне касније, када је вегетација већ кренула, а у јесен раније чим се стекну услови за садњу. Због изузетно лошег састава супстрата, ради побољшања подлоге потребно је увођење легуминоза (луцерка, црвена детелина и жути звездан) и повећање процента њиховог учешћа у смеси са травама.

Кандидат Јасмина Лилић је на основу добијених резултата, правилно извела најважније закључке. У поглављу **Закључци** наведене су најзначајније карактеристике земљишта коповског јаловишта рудника бакра Бор: висок садржај скелета, деградирана структура, велика порозност и веома велика пропусност за воду, низак садржај хумуса,

низак рН, велика хидролитичка и разменљива киселост земљишта, низак капацитет катјонске измене, високе концентрације арсена (As) и бакра (Cu), као и ниска микробиолошка активност.

Најважније карактеристике земљишта флотацијског јаловишта рудника бакра Бор су лакши механички састав, деградирана структура, велика порозност и пропусност за воду, углавном низак садржај хумуса, доминација фулво киселина над хуминским киселинама у хумусу, низак рН, велика хидролитичка и разменљива киселост земљишта, низак капацитет катјонске измене, високе концентрације арсена (As) и бакра (Cu) и ниска микробиолошка активност.

У поређењу са природним контролним земљиштима, земљишта коповског и флотацијског јаловишта карактерише значајно нижи садржај фракције глине, лошије структурне карактеристике, ниже вредности капацитета катјонске измене, нижи садржај хумуса и неповољнији састав хумуса (доминација фулво киселина над хуминским киселинама).

Земљишта флотацијског јаловишта у поређењу са коповским јаловиштем имају повољније текстурне и хемијске карактеристике, које су резултат интензивнијих мера рекултивације које су спроведене на флотацијском јаловишту (наношење слоја хумусног земљишта са позајмишта, садња дрвећа и сејање трава) у поређењу са мерама на коповским јаловишту (садња дрвећа).

Спроведене мере рекултивације на коповском јаловишту (садња дрвећа коју нису пратиле адекватне мере неге подигнутих засада у дужем временском периоду), нису довеле до значајног побољшања физичких, хемијских и микробиолошких карактеристика земљишта.

Спроведене мере рекултивације на флотацијском јаловишту, које су се састојале у реконструкцији површинског слоја навожењем хумусног земљишта, су значајније утицале на побољшање физичких (повећан садржај глине, повољније структурне карактеристике) и хемијских карактеристика (већи садржај хумуса и капацитет катјонске измене). Међутим, микробиолошке карактеристике на рекултивисаним површинама у поређењу са нерекултивисаним делом јаловишта су остале непромењене.

Након две деценије од спровођења рекултивације на флотацијском јаловишту на рекултивисаним површинама је дошло до деградације нанетог земљишног материјала у смислу кварења структуре земљишта, смањења садржаја хумуса и погоршања његовог састава у правцу повећања садржаја фулво киселина и ширења односа хуминских и фулво киселина. Деградација земљишта на рекултивисаном флотацијском јаловишту последица је слабог развоја вегетације услед недовољне неге и наношења јаловине ветром са нерекултивисаних делова јаловишта.

Предложене **техничке мере** рекултивације треба да обухвате:

- На коповском јаловишту "Високи планир", после завршеног планирања и равнања хоризонталних површина, ископавање јама адекватних димензија за садњу садница.
- Изравнавање површине и навожење слоја земљишта са позајмишта или мешавине земљишта и јаловине на целокупној површини флотацијског јаловишта "Поље 2".

Биолошке мере рекултивације оба јаловишта треба да обухвате сетву или садњу адекватних биљних врста, уз примену мера: калцизације, хумизације, примене микробиолошких и минералних ђубрива, наводњавања.

У поглављу *Литература* цитирано је 177 литературних извора, како домаћих тако и иностраних. Цитиране референце су адекватне и одговарају проучаваној проблематици.

У поглављу *Прилози* приказано је 9 табела са подацима о физичким и хемијским карактеристикама земљишта које због обима нису наведене у основном тексту рада, као

и прилози: Биографија кандидата, Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјава о коришћењу.

3. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Кандидат Јасмина Лилић је мишљењу чланова Комисије остварила све циљеве докторске дисертације у складу са одобреном пријавом. Њена дисертација под насловом: „Утицај рекултивације на карактеристике техносола рудника бакра Бор" представља оригиналан истраживачки рад од великог научног и практичног значаја.

Методе коришћене у овој дисертацији су омогућиле кандидату да адекватно и целовито провери постављену хипотезу и тиме оствари задати циљ. Рад је написан концизно и јасно, резултати су коректно приказани, објашњени и продискутовани. Тумачења резултата су научно заснована и правилно поређена са резултатима других аутора из ове области. Посебна вредност ове докторске дисертације је сврсисходна примена статистичке анализе мултиваријабилних података у форми анализе принципијелних компоненти.

Тема и садржај ове дисертације су актуелни и значајни, како са научног, тако и са практичног становишта, имајући у виду драматично повећање површина под земљиштима која су развијена на антропогеним подлогама. Као резултат тога, настала је нова референтна група земљишта, техносоли, која је додата и описана у најновијој верзији Светске референтне базе за земљишне ресурсе.

Овом докторском дисертацијом су по први пут код нас на систематски начин добијени и анализирани подаци о утицају примењених мера рекултивације на карактеристике техносола Борско-мајданпечког басена бакра који спада међу највеће површине у Србији на којима је деградација земљишта последица рударских активности.

Допринос ове дисертације огледа се у детаљном сагледавању промена у карактеристикама површинског слоја коповског и флотацијског јаловишта рудника бакра у Бору, које су настале као последица примене мера рекултивације пре 20-30 година. Даље, у спознавању улоге природних и антропогених фактора (рекултивације) у образовању ове групе земљишта и њихових карактеристика.

Важан допринос дисертације су релевантни закључци о успешности примењених мера рекултивације техносола на јаловиштима рудника бакра, након дужег временског периода. Спроведене мере рекултивације на коповском јаловишту (садња дрвећа коју нису пратиле адекватне мере неге подигнутих засада у дужем временском периоду), нису довеле до значајног побољшања физичких, хемијских и микробиолошких карактеристика земљишта.

Спроведене мере рекултивације на флотацијском јаловишту, које су се састојале у реконструкцији површинског слоја навожењем хумусног земљишта, су значајније утицале на побољшање физичких хемијских али не и микробиолошких карактеристика на рекултивисаним површинама у поређењу са нерекултивисаним делом јаловине.

На основу закључака о утицају поменутих мера на техносоле борских рудника, кандидат предлаже мере које би са успехом земљишта која су деградира површинском експлоатацијом руде бакра, као и сличне површине депоновања отпада довеле у стање погодно за коришћење за различите намене.

Поред научног ова истраживања имају и практичан значај. С једне стране, велики је значај примене ових резултата на подручју Борско-мајданпечког басена бакра. С друге стране, имајући у виду да је планским документима процењено да ће у Србији до 2030. године површинском експлоатацијом бити обухваћено више од 1000 km² површине, намеће се закључак да ће овај вид експлоатације у будућности, поред

већ постојећих деградираних подручја, значајно утицати на њихово даље проширење. Резултати истраживања правца развоја земљишта на рударским одлагалиштима могу допринети бољем разумевању подручја која су погођена сличним отпадним материјалом, а могу се користити и у санацији подручја површинских копова.

Имајући у виду напред наведено Комисија предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да усвоји извештај о позитивној оцени докторске дисертације под насловом **“Утицај рекултивације на карактеристике техносола рудника бакра Бор”** и одобри Јасмини Лилић, дипл. инж. пољ. да је јавно брани.

Чланови Комисије

Др Невенка Ђуровић, ванредни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
(УНО Мелиорације земљишта)

Др Мирко Неђић, доцент
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
(УНО Мелиорације земљишта)

Др Блажо Лалевић, доцент
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
(УНО Еколошка микробиологија)

Др Јасмина Стевановић, научни саветник
Институт за хемију, технологију и металургију у Београду
(УНО Електрохемија)

Др Жељко Целетовић, научни сарадник
Институт за примену нуклеарне енергије у пољопривреди у
Београду
(УНО Ратарство)

Прилог: Рад Јасмине Лилић који је објављен у часопису са SCI листе

Lilić, J, Супаћ, S, Lalević, B, Andrić V, Gajić-Kvašček M.: Pedological characteristics of open-pit Cu wastes and post-flotation tailings (Bor, Serbia). *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, Mar 2014, vol.14, no.1, p.161-175. ISSN 0718-9516