

**РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ**  
**UDK**  
*Стручни рад*

---

Технички факултет у Бору – Универзитет у Београду, В.Ј. 12, 19210 Бор, Србија  
Катедра за минералне и рециклажне технологије  
Тел. +381 30 424 555, 424 556, Фак. +381 30 421 078

---

**ЗНАЧАЈ БИОЛОШКЕ РЕКУЛТИВАЦИЈЕ У УРЕЂЕЊУ  
ПОСТЕКСПЛОАТАЦИОНИХ ПРЕДЕЛА**

**BIOLOGICAL RECULTIVATION SIGNIFICANCE OF POST-MINING LANDSCAPES**

**Драгана Дражић<sup>1</sup>, Милорад Веселиновић<sup>1</sup>, Весна Голубовић-Тургуз<sup>#1</sup>,  
Љубинко Јовановић<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт за шумарство, Кнеза Вишеслава 3, Београд

<sup>2</sup> Институт за мултидисциплинарна истраживања, Кнеза Вишеслава 1, Београд

---

**ИЗВОД**

У раду је указано на негативне последице коју доноси технологија површинске експлоатације минералних и других сировина. Такође су приказани резултати биолошке рекултивације пошумљавањем које имају за циљ обнову деградираног простора и омогућавање свестраног коришћења предела након завршене експлоатације. Изведени радови докажују да је могуће на просторима уништених екосистема створити нове са већим функционалним вредностима од оних у предексплоатационом периоду. Због свега наведеног, неопходно је да рударске радове прати биолошка рекултивација и уређење постексплоатационих предела. У раду су изнети резултати истраживања на подручју Колубарско-тамнавског и Подунавско-костолачког басена угља и Борског басена бакра.

**Кључне речи:** површински копови, екосистеми, биолошка рекултивација, уређење предела, мултифункционално коришћење постексплоатационих предела.

**ABSTRACT**

Surface mining causes a significant degradation of natural landscapes and ecosystems – forest, water, agricultural, etc. The development of surface mining obliges the integral planning of the restitution of degraded lands and their multiple uses in the post-mining period. This paper presents the study results of the possibility of positive transformation, optimal management and multifunctional land use of large coal and copper basin areas in Serbia. The study shows that it is possible to create new agrarian, forest, aquatic, meadow and other ecosystems on the lands of devastated ecosystems and natural landscapes, an improved and more attractive landscape of higher functional value than in the pre-mining natural ecosystems.

**Key words:** surface mining, ecosystems, biological recultivation, landscape management, multifunctional use of post-mining landscapes.

---

<sup>#</sup> Особа за контакт: [vesnacurguz@gmail.com](mailto:vesnacurguz@gmail.com)

## ПРОБЛЕМ

Површинска експлоатација је један од најстаријих начина ископа минералних сировина. Данашњи површински копови, захваљујући развоју технике и технологија, заузимају огромна пространства, а сировина се експлоатише на великим дубинама. Ово су истовремено и основни разлози због којих је површинска експлоатација један од најдрастичнијих облика деградације животне средине. Међу бројне негативне ефекте експлоатације спадају: заузимање пољопривредног и шумског земљишта, промене у режиму површинских и подземних вода, измештање река, прекид у

ланцу исхране и друге промене биоценоза, пресељење становништва, измештање насеља, индустријских, саобраћајних, културно-историјских и других објеката који се налазе изнад лежишта. Неминовна пратеће појаве површинске експлоатације су и: драстична промена пејзажа, предела и постојећих екосистема, стварање вештачких стерилних брда јаловине, рупа-кратера огромних димензија као и површина без вегетације са уништеним педолошким покривачем. Све наведене промене дају сасвим нову, често застрашујућу слику нарушених предела.

## ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА У СРБИЈИ

У Србији површинска експлоатација је доминантна у укупној експлоатацији сировина (Пејчиновић, Урошевић, 1996). Процењује се да ће у Србији површинском експлоатацијом (и деградацијом животне средине) бити захваћено преко 1.000 км<sup>2</sup>. Највеће промене, како по површини, тако и по интензитету су у оквиру површинских копова угља – Колубарско-тамнавском, Подунавско-костолачком и Косовском, као бакра у Бору.

Експлоатација камена, глине, шљунка и песка знатно мање загађује животну средину, али број од око 140 активних погона указује на обим модификације средине. Ефекти ових копова су утолико значајнији што се они најчешће налазе у рубним подручјима градова, односно у подручјима великих концентрација становништва.

Према критеријуму заузећа површине и дубине копа, у Србији се најчешће срећу три типа површинских копова:

а.) Површински копови који заузимају велике површине, али су малих дубина. Код нас се јављају код експлоатације ниско калоричних угљева–лигнита

б.) Велики и дубоки површински копови који се код нас јављају у експлоатацији обојених метала

с.) Мали површински копови заступљени у експлоатацији камена, песка, шљунка и глине.

### **Површински копови који заузимају велике површине, али су малих дубина.**

Велики лигнитски басени су код нас енергетски потенцијал од стратешког значаја, без којих је незамисливо функционисање привреде и друштва уопште. Развој површинске експлоатације као енергетско-индустријског комплекса и велики обим неповољног утицаја таквог развоја на природну средину, обавезују да се кроз интегрално планирање обнове деградирани простори и омогући њихово свестрано коришћење у периоду након завршне експлоатације (Дражић, 2002; Дражић, Бојовић, 2004). Србија је богата нискокалоричним лигнитом који се углавном користи за производњу електричне енергије. Око 93% укупних резерви лигнита налази се у оквиру следећих активних басена:

- Колубарско-тамнавском басену на површини од око 520 km<sup>2</sup>;
- Косовско-метохијском басену, где су до сада детаљно истражене резерве у Косовском делу басена су на око 270 km<sup>2</sup> и Метохијском (Клина) на око 160 km<sup>2</sup>
- Подунавско-костолачком басену на површини од око 400 km<sup>2</sup>

Поред поменутих басена, у Србији је познато доста мањих лежишта лигнита, углавном локалног значаја. Све већа потреба за електричном енергијом, а ограничен хидро-енергетски потенцијал наших

река као најзначајнијег еколошки чистог, обновљивог електро-енергетског потенцијала, не може да задовољи потребу за повећаном потражњом електричне енергије, па ћемо и у будућности бити оријентисани на производњу лигнита површинском експлоатацијом. То значи да ће се и даље нарушавати природна орографија предела изнад лежишта угља и наставити са уништавањем постојећих екосистема. Поред тога, животну средину ће угрожавати загађивачи ваздуха – термоелектране и пратеће индустрије.

### ГДЕ ЈЕ РЕШЕЊЕ?

Техничка, а затим биолошка рекултивација и уређење експлоатацијом деградираних површина су општеприхваћене методе отклањања последица површинске експлоатације. Да би се ублажиле штетне последице развоја површинских копова, неопходно је да рударске радове прати биолошка рекултивација одлагалишта и уређење деградираних предела како би се на депосолима - одложеним јаловинама поново успоставили различити вегетацијски и други екосистеми.

#### Рекултивација великих и дубоких површинских копова

Типичан је Борски рудни басен са неколико великих лежишта бакра: Бор, Брезник, “Х”, “Ново окно” “Велики Кривељ” и Мајданпек. Рудник бакра Бор је активан од 1903. године, а површинска експлоатација се примењује од 1924. године. Рудник бакра Мајданпек познат је још из римског доба, а површинска експлоатација је започела 1958. године. Као последица рударских активности, деградирано је преко 800 ha површине.

#### Карактеристике простора и супстрата насталог површинском експлоатацијом у Мајданпеку

Депосоле рудника бакра у Мајданпеку карактерише висока варијабилност својстава (Табела 6,7), што је основна карактеристика антропогено деградираних земљишта насталих површинском експлоатацијом руда. Различити литолошки слојеви откривке поседују различита својства (Голубовић-Ђургуз, 2008). Међутим, ова земљишта карактеришу и високе концентрације токсичних метала који могу бити ограничавајући фактор у рекултивацији.

#### Физичке и хемијске особине

Физичка својства депосола карактерише лак текстурни састав (Табела 1). По текстурној класи четири испитана депосола (А, Б, Ц и Е) припадају песковитим иловачама, али са веома израженим међусобним разликама.

Депосол са локалитета Д се по текстурном саставу јако разликује од осталих. Припада класи песковито-глиновитих иловача, поседује другачије хемијске особине, што указује да се ради о депосолу сасвим другачијег минералског састава, односно да није из истог или сличних литолошких слојева откривке. У

испитаним депосолима, констатована је хидролитичка киселост на свих пет изузетно висока активна и супституциона и испитиваних локалитета (Табела 2).

**Табела 1.** Текстурни састав депосола

	крупан песак	ситан песак	прах	глина	укупан песак	укупна глина	текстурна класа
Лрб	%	%	%	%	%	%	
А (0-10 cm)	33.0	35.2	8.0	23.8	68.2	31.8	Песковита иловача
Б (0-10 cm)	22.2	37.9	17.9	22.0	60.1	39.9	Песковита иловача
Ц (0-10 cm)	32.5	28.7	16.0	22.8	61.2	38.8	Песковита иловача
Д (0-10 cm)	23.6	25.3	18.6	32.5	48.9	51.1	Песковито глиновита иловача
Е (0-10 cm)	29.2	30.4	18.0	22.4	59.6	40.4	Песковита иловача

**Табела 2.** Хемијске карактеристике депосола

Лрб	дубина cm	рН		адсорптивни комплекс					слободни	укупни		приступачни	
		H <sub>2</sub> O	KCl	T	S	T-S	V	Y1	CaCO <sub>3</sub>	хумус	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				ekv.m.mol/100g	%	cm <sup>3</sup>	%	%	%	mg/100g	mg/100g		
А	0-10	2.10	1.90	-	-	-	-	95.83	-	4.80	0.07	1.8	1.74
Б	0-10	2.30	2.00	-	-	-	-	103.60	-	0.97	0.09	0.3	1.97
Ц	0-10	2.80	2.00	54.86	4.36	50.51	7.94	77.70	-	0.86	0.08	0.4	2.58
Д	0-10	2.30	1.90	-	-	-	-	128.21	-	0.88	0.17	14.6	3.60
Е	0-10	3.30	2.40	49.31	9.74	39.56	19.76	60.87	-	0.97	0.14	0.3	5.20

Сума адсорбованих базних катјона, није могла да се анализира код узорака А, Б и Д, чија је активна киселост 2.1 до 2.3, а супституциона 1.9 до 2 рН јединица. (после екстракције узорака земљишта 0.1M раствором HCl). За титрацију добијеног екстракта утрошак 0.1M NaOH је био већи него за титрацију чистог екстракционог средства. То указује да су у овим депосолима присутне хидролитички јако киселе соли (највероватније сулфати), а да је адсорптивни комплекс засићен киселим катјонима (H, Al и Fe) који смањују алкалност земљишног раствора чиме се објашњава јако изражена хидролитичка киселост узорака А, Б и Д. У узорцима депосола А, Б и Д земноалкални елементи Са и Mg су у изразитом дефициту.

Садржај укупног хумуса на свим локалитетима је изузетно низак, изузев на локалитету А. Садржај укупног азота низак

је на свим испитиваним локалитетима, што указује на изузетно широк C/N однос и слабе услове за минерализацију органског азота и његово појављивање у приступачним облицима. Испитивани депосоли су сиромашни у лако приступачним облицима калијума и фосфора, који су у изузетном дефициту, што за последицу има слабу или никакву заступљеност биљака на овим локалитетима. Једино је код локалитета Д констатована добра обезбеђеност фосфором.

#### Биолошке особине одложеног супстрата

Резултати анализе депосола указују на веома слабу микробиолошку активност (табела 3). Констатована је веома слаба заступљеност свих испитиваних група микроорганизама, а присуство *Азотобацтера* није уопште констатовано.

**Табела 3.** Микробиолошке карактеристике депосола Мајданпек ( $\text{g}^{-1}$ )

Локалитет	Укупан број бактерија $\times 10^4$	Укупан број диазотрофа $\times 10^4$	Азотобацтер $\times 10^2$	Гљиве $\times 10^3$
А	22.3	16.71	нема	нема
Б	32.3	25.31	нема	нема
Ц	41.4	22.8	нема	нема
Д	33.9	27.4	нема	нема
Е	51.5	18.02	нема	нема

#### Садржај тешких метала у депосолу

**Табела 4.** Садржај тешких метала (ппм) у узорцима депосола

Локалитет	Опис узорка и присуство вегетације	Cu	Pb	Cd	Ni
А	жуто-сиви ( доминира сива)-без вегетације	20,3	7,9	0,1	9,3
Б	жућкасто-сиво-окер-без вегетације	90,0	8,1	0,2	0,9
Ц	црвенкаста-без вегетације	32,8	7,3	0,0	0,7
Д	жутосива (доминантна жута)-без вегетације	37,3	6,5	0,0	11,3
Е	Жуто-црвена-близу стабла брезе	55,5	8,1	0,0	1,0

Резултати анализа земљишта на огледним површинама (Табела 9) показују да антропогена земљишта имају повишен садржај Cu и Pb у површинском слоју. Вероватно је разлог томе лак механички састав, тј. мали садржај глинених честица као адсорбената.

Тешки метали су присутни у траговима у свим незагађеним земљиштима као резултат распадања матичног супстрата, као елементи у траговима. Због тога су широко распрострањени у земљиштима, биљкама и животињама. Неки тешки метали су есенцијални за биљке као микроелементи (Cu, Mn, Fe и Zn) јер су укључени у метаболичке процесе. Међутим, иако корисни у малим количинама, ови елементи постају штетни када се приступачне форме у земљишту налазе у великим количинама. Тешки метали олово и кадмијум немају есенцијални значај за биљке, односно не представљају неопходне елементе за функционисање биљног организма (Кадовић и Кнежевић, 2002).

Бакар је један од најслабије покретљивих тешких метала у земљишту. Растворљивост, мобилност и приступачност биљкама, у највећој мери зависе од рН земљишта.

Олово је присутно у земљишту у веома широком опсегу. Природни садржај у земљишту потиче од матичне стене или загађења и обично се смањује од површине. Олово се везује за органску материју и заједно са раствором органске материје мигрира кроз профил. Његова слаба покретљивост у земљишту се повећава повећањем киселости. Биљке су углавном веома осетљиве на присуство олова (Кадовић и Кнежевић, 2002).

#### Биолошка рекултивација

Према подацима Сектора за екологију Рудника бакра и неметала Бор, у периоду од 1992-1998. године, на деградираним површинама овог рудника засађено је укупно 1.500.560 садница. Садња је вршена на старом површинском копу Бор, флотацијском јаловишту “Велики Кривељ” и санитарној зони површинског копа “Церово”. Засађена је површина од око 600 ха. Највише је заступљен багрем (*Robinia pseudoaccasia* L.), затим јавор (*Acer* sp.), јасен (*Frahinus* sp.) и брест (*Ulmus* sp.). Просечан проценат пријема је 48,8%.

На основу извршених анализа супстрата у наредном периоду је потребно поставити низ огледних површина пошумљавањем различитим биљним врстама. Позитивна искуства биолошке рекултивације депосала других површинских копова треба применити и прилагодити постојећим условима

## ЗАКЉУЧАК

Неоспорна је чињеница да ће се минералне сировине у Србији и у будућности експлоатисати површинском експлоатацијом. Ова чињеница говори да ће овај вид експлоатације у будућности поред већ деградираних подручја додатно деградирати животну средину уништавајући антропогене и природи блиске екосистеме. Примери који су изнети у раду указују да није неопходно да оно што човек деградира или уништи због својих потреба, буде неповратно изгубљено.

Напротив, правилним поступањем од момента планирања, преко експлоатације до коначног уређења предела, стање се може и поправити у односу на првобитну ситуацију. У том циљу неопходна је сарадња стручњака различитих струка и специјалности (рударство, шумарство, пејзажна архитектура, биологија, агрономија и др.) и мултидисциплинарни приступ решавању ове изузетно комплексне проблематике.

Правовремена израда пројектне документације анализе утицаја на животну средину и пројеката техничке и биолошке рекултивације са уређењем деградираних предела, треба да обавезно прати документацију рударских радова.

Кроз истраживачки рад и пројектно-планску документацију изнаћи најоптималнија решења како би се постигли најбољи мултифункционални ефекти у еколошко-економској рестаурацији предела, деградираних површинским коповима. Пројектном документацијом треба јасно дефинисати однос пољопривредних, шумских, акватичних и других површина, њихов размештај у простору, нова и постојећа насеља,

средине. На основу резултата постигнутих на огледним површинама потребно је утврдити методологију биолошке рекултивације овог подручја и применити је у наредном периоду како би се повећао просечан проценат пријема и извесност успеха пошумљавања.

структура становништва, врсте делатности које ће се обављати, пратећа инфраструктура и др.

Поступком техничке (рударске) рекултивације, физички се креира нова слика простора, ублажених контура, са формирањем завршног плодног хумусног слоја.

Но, тек са биолошком рекултивацијом, враћа се живот у оштећен предео. Садњом различитих врста дрвећа и жбуња антропогено се формирају нове биљне заједнице у којима започињу сложени ценолошки процеси и даље спонтано насељавање, како флоре, тако и фауне. Синергијски, они делују на земљиште, обогаћују га органском материјом, иницирају микробиолошку активност и педогенетске процесе. Временом, рекултивисани и ревитализовани простор ураста у околни предео и ствара хармоничну и функционалну целину.

Поред мелиоративног дејства на земљиште, веома су битне и остале корисне функције новостворених шумских екосистема. Једна од главних функција је њена ретенционо-заштитан функција. Шумске културе и спонтано насељена приземан флора, спречиће развијање површинске и јаружасте ерозије. Својом зеленом лисном масом, шуме имају значајну функцију пречишћивача загађеног ваздуха, како разградњом хемијских једињења, тако и таложењем чврстих честица, што је веома важно са гледишта заштите животне средине у зони насеља.

Треба инсистирати да шумски екосистеми, као највећи апсорбенти угљендиоксида и других полутаната и најефикаснији филтранти чврстих честица

из приземних слојева ваздуха, при биолошкој рекултивацији буду фаворизовани, поготову у пределима где је степен шумовитости низак и уколико између копова и већих урбаних насеља нема шумских екосистема.

На овај начин, потврђује се теза о могућем одрживом развоју, односно могућој одрживој експлоатацији минералних и других сировина. користи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дражић Д., „Одрживо коришћење лигнита у Колубарском басену“, II Међународна конференција о управљању заштитом у електропривреди. “Електра II”. Тара. Книга радова, п. 91-95. 2002.
2. Dražić, D., "Possibilities of formation and multifunctional utilization of newly created ecosystems and landscapes in the areas of opencast mines of coal basins", International Conference Sustainable development: Demography, Production and Ecology (DEPECO). Oct. 18-20., Sofia, Bulgaria, 1995
3. Дражић Д., „Примена принципа одрживог развоја: постексплоатационо коришћење рекултивисаних простора површинских копова угља“, Еко-конференција 99: Заштита животне средине градова и приградских насеља. 22-25. септембра, Нови Сад. п.471-477. Монографија, 1999.
4. Dražić D., Voјović, S., "Reclamation, revitalization, landscaping and multifunctional valorization of areas degraded by opencast coal exploitation in Serbia", *Ecologia i industria*, Vol. 6, No 2. Publisher: Balcan Academy of Sciences and Culture. Sofia. p. 267-270, 2004
5. Дражић М., Дражић Д., „Значај селективног одлагања откривке површинских копова за успешну рекултивацију и уређење простора“, VIII Југословенски симпозијум о површинској експлоатацији минералних сировина, 2-5. октобра. Игало, 1991.
6. Голубовић-Ћургуз В., „Преживљавање микоризираних садница смрче (*Picea abies* L. Karst.) и белог бора (*Pinus sylvestris* L.)“, Докторска дисертација, 2008.
7. Кадовић Р., Кнежевић М., „Тешки метали у шумским екосистемима Србије“, Београд, 1-279, 2002.
8. Пејчиновић Ј., Урошевић Д., „Проблеми одржања животне средине у рударству Србије“, Зборник радова, Рударство и заштита животне средине, Београд, 1996.
9. Šmit S., Veselinović N., Popović J., Minić D., Miletić Z., Marković D., Dražić D., Veselinović M., Vuletić D., Vučković B., Ratknić M., "Recultivation by Afforestation on Minespoil banks of Opencast Lignite Mine "Kolubara". Monografija, Institut za šumarstvo, 1977.
10. Веселиновић М., „Морфолошке, анатомске и цитолошке промене изазване аерозагађењем у врсте *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco у културама на депосолу колубарског угљеног басена“, Докторска дисертација, 2006.
11. Veselinović M., Golubović-Ćurguz V., "Recultivation by afforestation of deposols", *Zemljište i biljka*, Vol.50, No.3, pp. 201-210, 2003.