

## РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ

UDK 626.87(497.11)

*Стручни рад*

---

Технички факултет у Бору Универзитета 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

---

### БИОЛОШКА РЕКУЛТИВАЦИЈА ПОЉА 2 ФЛОТАЦИЈСКОГ ЈАЛОВИШТА БОР

### BIOLOGICAL RE-CULTIVATION OF THE FIELD 2 TAILINGS OF BOR

Јасмина Лилић<sup>#1</sup>, Весна Филиповић<sup>1</sup>, Саша Нешић<sup>2</sup>,  
Светлана Јаношевић<sup>3</sup>, Миодраг Жикић<sup>4</sup>

<sup>1</sup> РТБ Бор Група РББ Бор ДОО, <sup>2</sup> Skala Green Суботица ДОО,

<sup>3</sup> ЈП Србијашуме, ШГ Тимочке шуме Бољевац,

<sup>4</sup> Технички факултет у Бору

---

#### ИЗВОД

Велики проблем приликом прераде руде бакра представља јаловина пирита која се јавља као нуспроизвод ове технологије. Пошто се ради о великим количинама јаловине, велики је и еколошки проблем са којим се суочавају становници Бора.

Сваки јачи ветар доводи до расејавања ситних честица пирита које засипавају велику површину, град и околину. Решавање проблема деградираног подручја и аерозагађања може се постићи путем биолошке рекултивације, гајењем одговарајућих врста биљака, што је заправо и једино реално решење.

**Кључне речи:** јаловина, деградирана површина, животна средина, биолошка рекултивација

#### ABSTRACT

Great problem of cooper production technology is tailing waste, byproduct of production process. As this kind of technology disposed a big volume of tailing, that is treat to citizen of Municipality of Bor.

Any strong wind is taking dust and small partition from tailing fields, which is expending, took by air to very big area of city and neighborhood. Solution for this kind of air, and earth pollution is to recultivate tailing fields with different kind of plants. That is right solution for this case.

**Key words:** Tailing, degraded area, environment, biological re-cultivation

---

---

<sup>#</sup> Особа за контакт: [libor4@ptt.yu](mailto:libor4@ptt.yu)

## УВОД

Од почетка рада Флотације у Бору, 1933. године па све до 1983. године, одлагање флотацијске јаловине вршено је у долину Борске реке. У фази експлоатације јаловиште је подељено на три поља: Поље 1, Поље 2 и Поље 3. Пољ 3 засуто је рударском са површинског копа и пепелом термоелектране, тако да је елиминисано из будуће евентуалне експлоатације.

Да би се спровела биолошка рекултивација Поља 2 флотацијског јаловишта у Бору, први корак је разастирање слоја земље из позајмишта, по целој површини, уз додавање материјала који потпомажу везивање ситних честица јаловине.

Због отежане набавке додатних материјала, као и високе цене, најбитнији је њихов претходни одабир који зависи од најбољих

резултата пријема биљних врста. Да би се такви резултати добили, приступило се извођењу огледа, са циљем решавања овог великог проблема аерозагађења.

Успех заштите техногених земљишта зависи од ефикасности успевања биљака на њима. Рад обрађује флотисол који потиче из процеса флотирања руде бакра. У флотисолу нема земљишног дела, већ се ради о ситном материјалу насталом експлоатацијом руде бакра помешаном са реагенсима у процесу флотирања.

Припрема флотисола за биолошку рекултивацију је веома компликована, како у физичком, тако и у хемијском погледу. Да би се ово спровело како треба, неопходно је јаловину детаљно проучити као полазну основу за предузимање даљих мера.

## МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Маса јаловине у Пољу 1 и Пољу 2 процењује се на око 27 милиона тона са 0,183% Cu, 0,35 g Au/t и 2,168 g Ag/t, што је еквивалентно количини бакра од око 49 хиљада тона, злата 9,3 тоне и сребра 58 тона. С обзиром на то да је јаловина од почетка рада флотације, прво депонована у Поље 1, ово поље има већи садржај корисних компоненти: бакра 0,34%, злата 0,60 g/t и сребра 2,30 g/t, али са знатно мањом количином јаловине, односно, око 4 милиона тона. Поље 2 има знатно већу количину јаловине (око 23 милиона тона), али са мањим садржајима (0,154 % Cu, 0,30 g Au/t и 2,138 g Ag/t) [1].

Имајући у виду количину јаловине, као и садржај корисних компоненти, она представља потенцијалну сировину за додатну валоризацију бакра и племенитих метала. Велику тешкоћу представља компликован минералшки састав, односно, велико учешће оксидних минерала, који су настали процесом оксидације у дужем временском периоду, а што захтева примену компликованих технологија прераде.

Технолошка истраживања валоризације корисних компоненти из ове сировине вршена су у неколико наврата, почев од 1970. године.

**Табела 1.** Хемијски састав јаловине

Хемијски састав (%)	Cu	Cu <sub>ок</sub>	Au	Ag	Fe	Zn	As	S	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	0,2	0,0975	0,35	3,0	8,69	0,003	0,014	10,58	53,34	8,52

У току 1982. године вршена су истраживања могућности валоризације

корисних компоненти из јаловине Поља 2. На основу резултата истраживања дат је предлог

технолошке шеме која укључује најпре лужење минерала бакра и издвајања бакра цементацијом на отпадном гвожђу, а затим флотацијску концентрацију пирита. На основу овог, у концентрату пирита би било 1,1 g Au/t, уз искоришћење злата од 43,57%, и 47 g Ag/t, уз искоришћење сребра од 35,65% [1].

Године 1988. узети су узорци јаловине са Поља 1 и 2 на дубини од 16 до 44 m. Хемијски и гранулометријски састав узорка дат је у табелама 1 и 2.

**Табела 2.** Гранулометријски састав јаловине

Кл. крупноће (mm)	M (%)	R (%)	D (%)
- 1,168 + 0,833	0,1	0,1	100,0
- 0,833 + 0,589	0,1	0,3	99,7
- 0,589 + 0,417	1,0	1,3	98,7
- 0,417 + 0,295	3,7	5,0	95,0
- 0,295 + 0,208	7,8	12,8	87,2
- 0,208 + 0,147	8,8	21,6	78,4
- 0,147 + 0,104	10,5	32,1	67,9
- 0,104 + 0,074	11,1	43,2	56,8
- 0,074 + 0,053	9,3	52,5	47,5
- 0,053 + 0,037	5,7	58,2	41,8
- 0,037 + 0,000	41,8	100,0	0,0

Дана 22. 12. 2000. године узето је 6 узорака јаловине из Поља 1 и 2 и њихов хемијски састав је дат у табели 3 [1].

**Табела 3.** Хемијски састав јаловине

Бр. узорка	Cu	Cu <sub>ox</sub>	S
1	0,21	0,010	15,17
2	0,11	0,022	12,10
3	0,07	0,002	7,10
4	0,25	0,059	9,79
5	0,13	0,017	9,98
6	0,13	0,044	8,45

На основу овога може се закључити да се ради о веома сиромашном супстрату, посебно у биогеним елементима N, P и K, док је

садржај штетних тешких метала у границама дозвољеног.

Физичке особине флотацијске јаловине су такође неповољне због велике заступљености честица испод 20 mm које чине чак 98% јаловине. Без хумуса, уситњене честице не могу да образују структурне агрегате. Као таква, флотацијска јаловина је у сувом стању веома распрашива и подлеже ерозији. Влажна јаловина је веома компактна и слабо пропусна, са лошим водно-ваздушним особинама. Због тога је важно успостављање биљног покривача који ће временом поспешити стварање структурних агрегата, што је карактеристика земљишта непоремењених екосистема.

Одсуство органске материје, низак садржај биљних хранива, јако кисела реакција, рН 2–3 и лоше водно-физичке особине, основни су ограничавајући фактори које треба отклонити.

На различитим огледним пољима примењене су рзичите агртехничке мере за поправку супстрата:

- уношење минералних ђубрива чиме се повећава садржај биљних хранива,
- калцификација која повећава и одржава рН вредност,
- уношење зеолита чиме се поправљају водно-физичке особине, снижава киселост земљишта, побољшава исхрана и развој биљака и смањује могућност појаве болести,
- уношење лифоса који је органско ђубриво, чиме се повећава садржај фосфора и калијума.

Зеолит се примењује из више разлога. Он је минерал вулканског порекла. Представља еколошки производ јер на њему није потребан третман пре примене, осим млевења. Овај минерал има велику моћ адсорпције тешких метала, радионуклеотида и микотоксина јер има активне центре на површини и порозну структуру, а тиме се попуњава адсорптивни комплекс до максимума.

Поред претходних мелиоративних мера, како у фази ницања, тако и у фази заснивања култура, намеће се потреба за водом за заливање.

Осим специфичности подлоге, на овом подручју специфична је и клима јаловишта.

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РАД**

У циљу изналажења најефикаснијег и најрентабилнијег решења којим ће се трајно рекултивисати подручје и спречити подизање и разношење честица јаловине на околину, 1996 године изведене су две врсте огледа:

- а – оглед са дрвенастим врстама,
- б – оглед са травама.

У јесен претходне године на површини предвиђеној за огледе прво је припремљен терен. Извршена је калцификација, при чему је растурен  $\text{CaCO}_3$  у количини од 10.000 kg/ha, и ђубрење NPK-ђубривом (15 : 15 : 15) у количини од 400 kg/ha [2].

#### **Оглед са дрвенастим врстама.**

Огледно поље је било површине 25 ари. Девет врста је засађено на различитим подлогама, односно, свака врста је посађена на шест различитих подлога, а то су:

- јаловина,
- јаловина и зеолит,
- јаловина и лифос,
- јаловина и земља,
- јаловина, земља и зеолит,
- јаловина, земља и лифос.

Врсте које су посађене су: багрем (*Robinia pseudoacacia* L.), бела бреза (*Betula verrucosa* Ehrh.), бела липа (*Tilia tomentosa* Moench.), јавор (*Acer pseudoplatanus* L.), млеч (*Acer platanoides* L.), бели јасен (*Fraxinus excelsior* L.), сладун (*Quercus conferta* Kit.), цер (*Quercus cerris* L.), тамарикс (*Tamarix* spp).

Лети је загревање површине знатно веће, а зими су знатно ниже температуре у односу на околну земљиште. Самим тим је неправилан и распоред падавина. Због већих амплитуда температура, и ветрови су јачи. И поново је због свега овога избор биљака веома важан.

По 20 комада сваке врсте засађено је на свакој од наведених подлога. Сађене су у јаме које су се попуњавале мешавином јаловине и поменутих додатака у следећој количини: земља 2 kg, лифос и зеолит по 20 g. Димензије јама су биле 40 x 40 x 40 cm. Размак садње је 1,5 x 1,5m. Садња је обављена у пролеће. За постављање огледног поља одабране су лишћарске врсте, осам дрвенастих и једна жбунаста.

Багрем је пионирска врста која није захтевна у погледу биљних асимилатива у земљишту. Брзо расте, нарочито у младости, па брзо покрива голу површину земље. Има веома моћан корен а на њему су квржице са бактеријама које везују азот из ваздуха и преводе га у приступачан облик за биљку. Веома је отпоран на сушу. Добра је пчелиња паша а дрво му је веома цењено у домаћинству [3].

Бреза је изразито пионирска врста. Добро подноси сиромашна земљишта киселе реакције која својим опалим лишћем и гранчицама поправља, стварајући благ хумус. Брзо расте и лако се природно подмлађује. Отпорна је на ниске и високе температуре и на ветар.

Липа подноси сувља земљишта са мање хранљивих материја. Племенити је лишћар, веома је декоративна и добро подноси градске услове.

Јавор је племенити лишћар чије је дрво веома цењено. Брзо расте у младости. Добро подноси градске услове. Јасен је брзорастућа врста која развија снажан коренов систем па

је отпоран према ветру. Има квалитетно дрво и декоративан је.

Храстови су аутохтоне врсте. Цер је широко распрострањен у околини града. Јавља се у чистој састојини или заједно са сладуном. Јављају се на земљиштима слабо киселе реакције. Дрво им је цењено у домаћинству.

Тамарикс је жбунаста врста, образује изразито дубок коренов систем који добро везује земљиште. Медоносна је врста [4].

### Оглед са травама

Оглед је постављен са смешом трава на различитим подлогама. На овај начин ће се видети ефекат различитих материјала који потпомажу везивање ситних честица јаловине.

Површина овог огледног поља је три ара, подељена на пет једнаких парцела на којима је пет различитих подлога. На свакој од њих је засејана травно-легуминозна смеша, у количини од 50 kg/ha. Састав легуминоза и трава, и њихово парцијално учешће у укупној количини семена, износи:

- енглески љуљ (*Lolium perenne*) – 25%,
- црвени вијук (*Festuca rubra*) – 25%,
- права ливадарка (*Poa pratensis*) – 25%,
- бела детелина (*Trifolium repens*) – 25%.

Траве и легуминозе веома брзо везују подлогу, стабилизују је и спречавају разношење честица јаловине на околину. Легуминозе као азотофиксатори омогућавају усвајање неприступачног азота из атмосфере и преводе га у приступачан облик за биљку.

## РЕЗУЛТАТИ И ПРЕДЛОЗИ

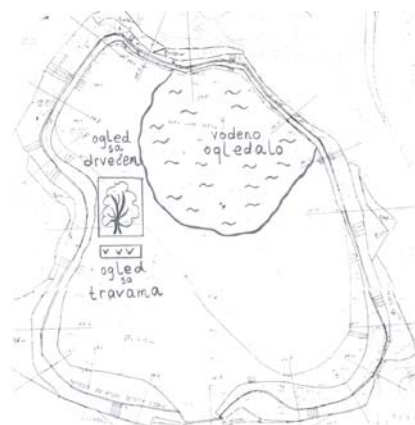
### Оглед са дрвенастим врстама

У постављању овог огледног поља било је пуно пропуста. Саднице су стигле средином

Удео легуминозне компоненте у смеси је 25%.

Подлоге, припремљене и неприпремљене, на којима је засејана травно-легуминозна смеша су следеће:

- јаловина,
- јаловина пресвучена слојем земље од 2 cm,
- јаловина којој је додата угљена прашина (50 kg)
- јаловина којој је додат лифос (20 kg) и
- јаловина којој је додат зеолит (25 kg).



Слика 1. Поље 2 флотацијског јаловишта у Бору са огледима

Сетва је обављена почетком јуна, јер је материјал стигао касно. Након сетве, поље је заливано два пута са размаком између заливања од 10 дана. Прихрањивање није извршено иако је било предвиђено, због недостатка средстава. На слици 1 приказано је Поље 2 са изведеним огледима.

априла у фази листања са голим кореновим системом. До садње, два до три дана, биле су утрапљене у гаражи у влажном песку. Садњу су обављали ученици једног нижег разреда основне школе, јер није било средстава за

плаћање обучених садилаца. Пролеће је било сушно, а саднице нису заливане иако је то било предвиђено.

Због свега наведеног, проценат пријема је био веома мали. До половине маја преживеле су само саднице брезе, багрема и тамарикса и то само на најквалитетније одрађеним подлогама (јаловина, земља, зеолит и јаловина, земља, лифос). До краја јуна се осушила половина и тих садница. Сушење се наставило тако да наредне године није било преживелих садница.

Да би се отклонили недостаци који су довели до неуспеха овог огледа, важно је садњу обавити у право време. Јесења садња се препоручује за лишћарске врсте, а она почиње средином октобра. Тиме ће и саднице бити у фази мировања вегетације. Веома је важно да седиоци буду искусни и да се јама попуњава земљом без мешања са јаловином. Земљи се додаје неко органско и минерално ђубриво: стајњак, у количини од 2 kg по садници и NPK – 50 g по садници, а за прихрањивање – KAN или UREA, 50 g по садници.

За опстанак садница неопходно је применити мере неге. Нега тек засноване културе у првим годинама њеног развоја је веома важна за њен опстанак. У овом периоду су биљке изложене неповољним условима земљишта и негативним утицајем променљиве климе.

Окопавање је мера којом се уништавају коровске биљке које представљају конкуренцију младој биљци на и онако сиромашном супстрату као што је јаловина. Зато је неопходно неколико окопавања у току године, чим коров нарасте толико да смета младој биљци. Коров се уништава само око саднице.

Прашење се обавља у циљу разбијања покорице. На овај начин се прекида капиларност и спречава испаравање земљишне влаге из дубљих слојева и

побољшава се аерација. Прашење се обавља плитко, на неколико cm, и само око биљке на 20–30 cm, пажљиво да се не одгрне земља око саднице. Прашење се обавља неколико пута у току године, непосредно после киша, јер се тада ствара покорица. Ове мере обављају се три до четири године након садње.

Поред овог, огледно поље се може обогатити неким лишћарским врстама добрих особина, као и четинарским врстама, које до сада нису коришћене, а то су:

\* сибирски брест (*Ulmus pumila* L.) – расте брзо у младости, скромних је захтева према земљишту, отпоран је на сушу, добро подноси градске услове и има мелиоративне особине,

\* кисело дрво (*Ailanthus glandulosa* Desf.) које веома добро успева код нас и може да се користи за пошумљавање сиромашних, киселих и сувих земљишта. Гаји се као пионирска али и као декоративна врста [4],

\* црни бор (*Pinus nigra* Arn.) – веома цењена пионирска врста за пошумљавање екстремних станишта. Скромних је захтева према хранљивим материјама у земљишту. образује хоризонталан, разгранат корен, добро се прима приликом садње и поправља земљиште стварањем обилне простирке. Његово дрво се користи у грађевинарству и индустрији намештаја [3].

### Оглед са травама

И код овог огледа такође је било много пропусти. До средине августа никло је 80% траве. Убрзо по ницању, трава се осушила. Лето је било веома сушно, а трава се више није заливала. Поред тога, због касне сетве, биљке нису могле да прођу све фенофезе.

Да би се отклонили недостаци који су довели до неуспеха овог огледа, сетву трава треба обавити у оптималном року, односно од краја августа до краја октобра, за јесењу

сетву, или од краја марта до краја априла, за пролећну сетву.

Слој земље преко јаловине треба да буде дебљи, најмање 10 cm.

Заливање је обавезна мелиоративна мера, а број заливања зависи од тога колико је сушна година. Количина воде за једно заливање је око 200 m<sup>3</sup>/ha [2].

На овако сиромашној подлози неопходно је прихрањивање минералним ђубривима (KAN или UREA), два пута годишње, у пролеће у количини од 300 kg/ha и у току вегетације у количини од 200 kg/ha. Прихрањивање треба вршити неколико година по заснивању травног покривача, а прво кошење треба обавити када трава достигне висину 15–20 cm и то ручно, ако је могуће, да се млада трава не би ишчупала. Остала кошења се изводе машински. Број кошења у току године је 3–5. Већи број кошења је ако је година кишна. Покошену траву не треба користити за сточну исхрану,

већ је треба разастирати по покошеној површини.

Прихрањивање се врши увек после кошења, а заливање после прихрањивања.

Због изузетно лошег састава супстрата, ради побољшања подлоге, потребно је увођење нових и бољих врста легуминоза и повећање процента њиховог учешћа у смеси са травама. Предлог су:

- луцерка (*Medicago sativa*) – 10%,
- црвена детелина (*Trifolium pratense*) – 10%
- жути звездан (*Lotus corniculatus*) – 10%.

Удео легуминозне компоненте у смеси био би 30% [5].

Ове три врсте легуминоза припадају најквалитетнијим биљкама, како у погледу хранљивих материја, тако и у приносу суве материје. Такође, имају изузетно висок садржај протеина и витамина, што им обезбеђује високе позиције међу крмним биљкама, па чак и у људској исхрани [6]. Наравно, ове врсте са деградираног супстрата се не би користиле у те сврхе.

## **ЗАКЉУЧАК**

Пошто флотацијско јаловиште у Бору директно угрожава околину, пре свега, еолским разношењем песка, овим радом је дефинисан поступак извођења експеримената у циљу изналажења најбољег решења за његову биолошку рекултивацију.

Претходно спроведена рекултивација Поља 2 флотацијског јаловишта у Бору није реализована како је било планирано па су зато и резултати били лоши. Такви резултати

потврђују чињеницу да рекултивација мора квалитетно да се пројектује и професионално спроведе, уз почетно вишегодишње одржавање засада, како би ефекти били на нивоу очекиваних.

У том смислу, овим радом је обрађена рекултивација Поља 2 флотацијског јаловишта у Бору на бази стеченог негативног искуства и нових сазнања до којих се дошло анализом сличних случајева.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Пројектна документација РББ-а
2. ИТНМС, Технолошка документација за обављање биолошке рекултивације на јаловишту флотације „Велики Кривељ“, 1995.
3. Стилиновић С., „Пошумљавање“, 1991.

4. Вукићевић Е., “Декоративна дендрологија“, 1982.
5. Лазаревић Д., Стошић М., „Заснивање и коришћење сејаних травњака“, 2003.
6. Мишић Љ., Лакушић Р., „Ливадске биљке“, 1990.