Doi broj: 10.5937/rudarstvo26067M

REKULTIVACIJA DEGRADIRANIH POVRŠINANA LOKALITETU POVRŠINSKOG KOPA JUŽNI REVIR U MAJDANPEKU

RECULTIVATION OF DEGRADED SURFACES AT THE OPEN PIT JUŽNI REVIR LOCATION IN MAJDANPEK

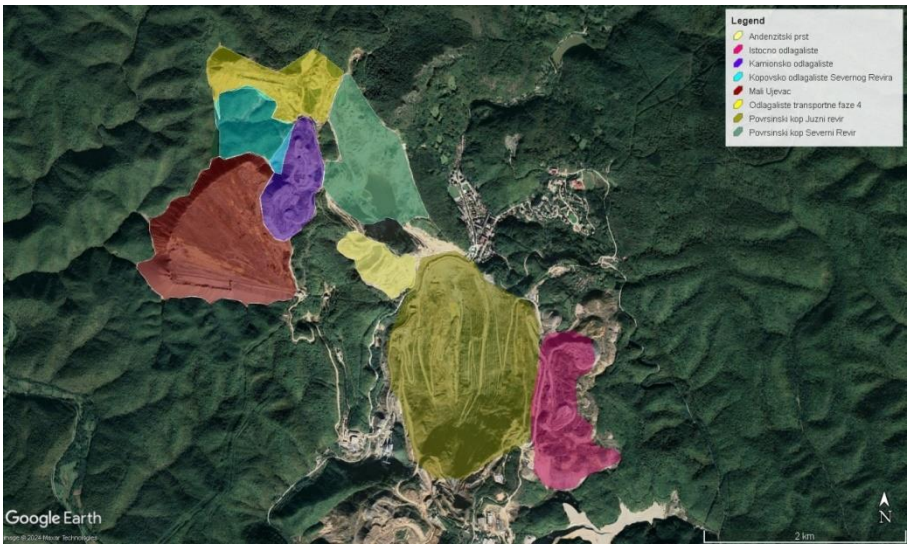
Miomir Mikić, Ivana Mikić, Milenko Jovanović, Daniel Kržanović
Institut za Rudarstvo i Metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, Bor, Srbija
miomir.mikic@irmbor.co.rs

Apstrakt
Degradirane površine stvorene su eksploatacijom bakra na površinskom kopu Južni Revir i pripadajućem odlagalištu, koje je smešteno u neposrednoj okolini, kod Majdanpeka, Srbija. Projektovano završno stanje površinskog kopa Južni revir se sastoji od ukupno 44 etaža, visine 15m. Najviša etaža je na koti 620 mnv, a najniža na koti -25 mnv. U cilju zaštite životne sredine preduzimaju se mere koje podrazumevaju radove na rekultivaciji svih degradiranih površina. U cilju što boljeg rezultata određuju se optimalne metode reukultivacije sa projektovanim radovima na tehničkoj i biološkoj rekultivaciji. Na taj način, primeniće se kombinacija zatravljivanja i pošumljavanja, pri čemu su predviđene sadnice mezijske bukve, hrasta, i klena. Naizmenična kombinacija ovih biljnih vrsta omogućava vezivanje supstrata i daju lep estetski izgled okolini.
ključne reči*: rekultivacija, životna sredina, zatravljivanje, pošumljavanje.*

Abstract
Degraded areas were created by copper exploatation from the Južni Revir open pit, and waste landfill, which is located in the immediate vicinity, near Majdanpek, Serbia. The projected final condition of the open pit Južni Revir consists of a total of 44 benches, 15m high. The highest bench is at an altitude of 620 meters above sea level, and the lowest at -25 meters above sea level. In order to protect the environment, measures are taken that include works on the recultivation of all degraded areas. In order to achieve the best possible result, optimal methods of recultivation are determined with planned works on technical and biological recultivation. In this way, a combination of weeding and afforestation will be applied, with Mesian beech, oak, and chub seedlings planned. The alternating combination of these plant species enables binding of the substrate and gives a nice aesthetic appearance to the environment.
Key words*:recultivation, environmental. weeding and afforestation.*

1. UVOD

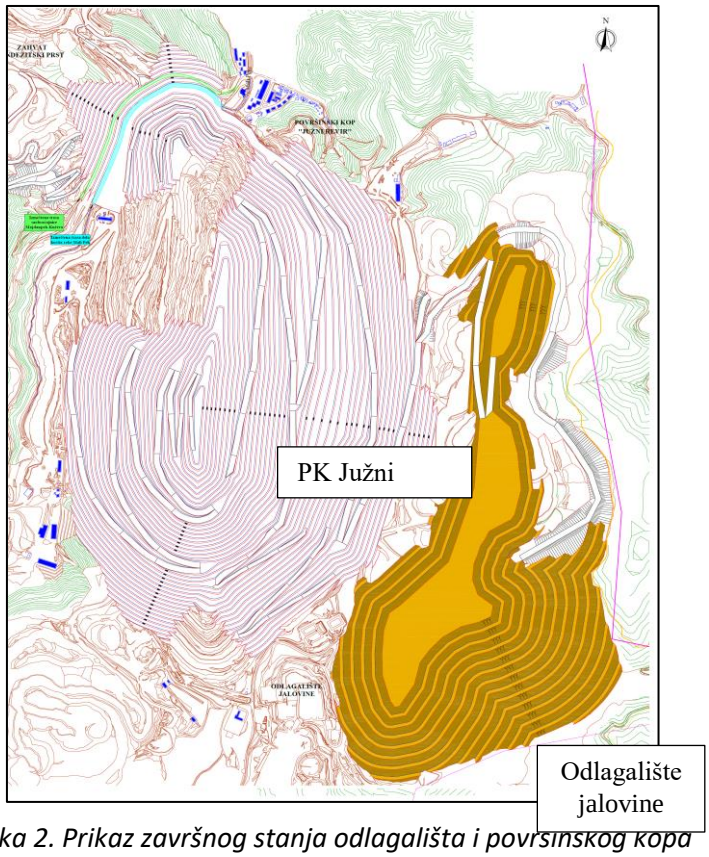
Majdanpek je tipičan rudarski grad, a sam rudnik, koji se nalazi u neposrednoj blizini grada, veoma je značajan kako za opštinu tako i za ceo Borski okrug. U celom rudniku (na površinskim kopovima Južni i Severni Revir i u ostalim pogonima) nekada je bilo zaposleno nešto manje od 4000 radnika, sada se taj broj dosta smanjio i iznosi oko 1000 radnika. Na južnoj strani grada rudarskim aktivnostima stvorena je depresija elipsastog oblika- površinski kop Južni revir, pružanja sever-jug, dubine preko 450 m. Kop praktično zauzima centralnu poziciju, pri čemu se severno nalazi površinski kop Severni Revir, a do njega više odlagališta kopovske jalovine, slika 1. Majdanpek se nalazi severoistočno u odnosu na kop. Južnije od površinskog kopa nalazi se kopovsko odlagalište Andezitski prst. Jugozapadno se nalazi veliko odlagalište Mali Ujevac. Predmetno, projektovano odlagalište, se nalazi između, može se reći naslanja na tri postojeća odlagališta. Južno se oslanjana Mali Ujevac, istočno na kamionsko odlagalište. U severnom delu pokriva najveći deo postojećeg kopovskog odlagališta transportne faze 4, slika 1.Lokacija predmetnog rudarskog objekta, tj. Površinskog kopa Južni Revir i pripadajućeg odlagališta jalovine, nalazi se južno u odnosu na grad Majdanpek, slika 1.



Slika 1. Satelitski snimak degradiranih površina u Majdanpeku

2. DEGRADIRANE POVRŠINE

Prema važećem Dopunskom rudarskom projektu kopovska jalovina se sa površinskog kopa Južni revir se odlaže na obližnjem jalovištu-Istočno odlagalište, koje se nalazi istočno od površinskog kopa.Najviša kota odlagališta je K+640 mnv, a najniža kota K+380 mnv, sa formiranim etažama na 20 m, sa generalnim nagibom kosina od 24°.Najviša kota površinskog kopa je K+635 mnv, a najniža kota K-25 mnv, sa formiranim etažama na 15 m, sa nagibom završnih kosina od 32°-38°.Rekultivacioni radovi će obuhvatati površine na etažama i kosinama odlagališta jalovine kao i na etažama površinskog kopa, slika 2. Degradirane površine predviđene za rekultivaciju odlagališta iznose 1.387.765 m^2, a površinskog kopa iznose 1.579.125 m^2. Ukupna degradirana površina predviđena za rekultivaciju iznosi 2.966.890 m^2, odnosno 296,6890 ha.



Slika 2. Prikaz završnog stanja odlagališta i površinskog kopa

3. IZBOR METODE REKULTIVACIJE

Rekultivacija je kompleks rudarsko-tehničkih, inženjerskih, melioracionih, šumarskih i poljoprivrednih radova, koji se izvode u određenom vremenu, usmerenih na privođenje degradiranih terena u stanje pogodno za ponovno korišćenje, na pređašnji ili na novi način, u odnosu na stanje pre degradacije.Mere rekultivacije moraju obezbediti najneophodnije abiotičke i biotičke uslove staništa, njegovu biotizaciju, stvaranje i pomaganje obrazovanja incijalnih životnih zajednica na meliorisanom staništu i odgovarajućih zajednica na višem stupnju cenotičke strukture i složenosti. Analiza stanja predela nakon formiranja završne konture odlagališta jalovine na lokaciji Južnog revira u Majdanpeku, ukazuje, da će stvoreni uslovi na kraju perioda eksploatacije biti takvi da koncepciju biološke rekultivacije treba prilagoditi funkciji postizanja vizuelnog sklada narušenog okruženja sa okolnim neporemećenim okruženjem, upotrebom vrsta prilagođenih ekološkim uslovima koji vladaju na novonastalim degradiranim površinama.Zbog velikih nagiba završnih kosina (generalni ugao je 24°), prilikom ozelenjavanja potrebno je koristiti celishodnije i ekonomski opravdanije varijante vertikalnog ozelenjavanja.
Saglasno postavljenim funkcionalnim zahtevima, ciljevi rekultivacije su: stvaranje novih, antropogenih livadsko-pašnjačkih i šumskih ekosistema, revitalizacija degradiranog prostora i vraćanje u ciklus prirodnih bioloških tokova, obezbeđenje zdrave životne sredine, zaštita i unapređenje biodiverziteta, osiguranje stabilnosti terena, sprečavaj erozionih procesa, regulisanje oticanja površinskih voda kao i poboljšanje kvaliteta zemljišta.
Za rekultivaciju površinskog kopa Južni revir i odlagališta kopovske jalovine u Majdanpeku, biće primenjena rekultivacija sa sledećim fazama:

1. Tehnička rekultivacija.
2. Biološka rekultivacija koja podrazumeva kompleks biotehničkih i fitomeliorativnih mera u cilju ozelenjavanja površina na prethodno pripremljenim površinama. Sastoji se od zatravljivanja i pošumljavanja degradiranih površina.

4. TEHNIČKI OPIS REKULTIVACIJE
TEHNIČKA REKULTIVACIJA

Operacije u okviru tehničke rekultivacije obuhvataju operacije koje će se izvoditi u više etapa-faza na odlagalištu jalovine:

- nivelisanje ravnih površina-etaža;

- formiranje terasnih ravni po kosinama odlagališta, terasne ravni se formiraju na 10 m visine i širine od 4m;
- formiranje sloja od zemljanog materijala visine 0,3 m preko platoa i etaža odlagališta i planiranje, ravnjanje formiranog sloja;
- priprema površina odlagališta za setvu trave.
- bušačko minerski radovi u cilju formiranja jama za sadnice na etažama površinskog kopa;

BIOLOŠKA REKULTIVACIJA

Biološka faza optimalne rekultivacije obuhvata zatravljivanje i pošumljavanje degradiranih površina. Ozelenavanje degradirane površine ima pre svega ulogu zaštite životne sredine, a istovremeno doprinosi lepšem izgledu okoline i boljoj mikroklimi područja.
Za ozelenjavanje degradiranih površina na predmetnoj lokaciji primeniće se biološka metoda rekultivacije i to:
Setva mešavine trava 49 kg/ha:

- Bela detelina (24,5%)
- Žuti zvezdan (24,5%)
- Mačiji rep (20,5%)
- Prava livadarka (30,5%)

Drvenaste biljke:

- *Fagus moesiaca* (Mezijska bukva)
- *Quercus petraea* (hrast kitnjak)
- *Acer campestre L.* (klen)

Na kosini odlagališta jalovine izvrši će se pošumljavanje sa hrastom. Izrađene terasne ravni po kosinama odlagališta će se takođe pošumljavati i to klenom. Na ravnoj površini odlagališta – etažnim ravnima izvršiće se zatravljivanje a nakon toga pošumljavanje bukvom.Sadnja drveća po kosinama odlagališta jalovine vrši će se po trouganoj šemi na međusobnom rastojanju sadnica od 2,24 m. To znači da se na jednom hektaru može zasaditi oko 2000 sadnica.Sadnja drveća po izrađenim terasnim ravnima vrši će se u jednom redu, na rastojanju sadnica od 3 m.Sadnja drveća na platou (E640) odlagališta jalovine vrši će se po mozaičnom rasporedu na međusobnom rastojanju sadnica od 3 m. Na ovaj način će se pošumiti oko 70 % površine dok će ostatak biti prostor rezervisan za put za prolaz mehanizacije (prvenstveno cisterne sa vodom). U okviru jednog mozaika koristi će se drvenaste biljke – mezijska bukva. Sadnja će se obavljati na dva metra od ivice kosine na

međusobnom rastojanju sadnica od 3 m (kvadratna šema). Na ovaj način će se postavljati oko 1100 sadnica po hektaru. Za sadnju će se koristiti sadnice starosti 2+1.Sadnja drveća – mezijska bukva na etažnim ravnima odlagališta jalovine vrši će se po kvadratnoj šemi na međusobnom rastojanju od 3 m. To znači da se na jednom hektaru može zasaditi oko 1.100 sadnica.Osnovna funkcija zaštitnog zelenila na degrediranim površinama je sprečavanje erodibilnih procesa. Na ovaj način se sprečava podizanje prašine i njeno raznošenje na okolna naseljena mesta. Takođe, povećava se stabilnost kosina a samim tim i sigurnost celokupnog odlagališta jalovine.Dinamika biološke rekultivacije će obuhvatiti više faza, svaka faza se odlikuje određenim radovima, celokupan proces biološke rekultivacije sa fazama je dat pregledno u tabeli 2.6.1.

Tabela 1. Dinamika biološke rekultivacije kroz faze izvođenja radova

Godina	Faza	Radovi	Lokacija
I	1	Zatravljivanje. Travna smeša je sastava: Bela detelina (24,5%) Žuti zvezdan (24,5%) Mačiji rep (20,5%) Prava livadarka (30,5%) Setva mešavine trava - 49 kg/ha	Plato E660 i etažne ravni odlagališta
I	2	Sadnja hrasta kitnjaka po trouganoj šemi i to: Hrast se sadi na rastojanju od 2,24m sa oko 2000 sad/ha, starosti 2+1, sa dodavanjem NPK (15:15:15) u količini od 100 g/sadnici	Kosine odlagališta
I	3	Sadnja klena u redovima i to: Klen se sadi u redovima na rastojanju od 3m sa oko 1100 sad/ha, starosti 2+1, sa dodavanjem NPK (15:15:15) u količini od 100 g/sadnici	Terasne ravni odlagališta
I	4	Sadnja mezijske bukve po kvadratnoj šemi u redovima i to: Sadnja sadnica na rastojanju od 3m sa oko 1100 sad/ha, starosti 2+1, sa dodavanjem NPK (15:15:15) u količini od 100 g/sadnici	Etaže površinskog kopa
II	1,2	Sadnja mezijske bukve po kvadratnoj šemi u redovima i to: Sadnja sadnica na rastojanju od 3m sa oko 1100 sad/ha, starosti 2+1, sa dodavanjem NPK (15:15:15) u količini od 100 g/sadnici	Plato E660, i etažne ravni odlagališta

5. ZAKLJUČAK

Eksploatacija bakra na površinskom kopu Južni Revir u Majdanpeku uzrokovala je degradaciju izuzetno velikih površina terena, koje obuhvataju kako samo telo kopa, tako i prateće odlagalište kopovske jalovine. Ukupna degradirana površina predviđena za rekultivaciju iznosi 2.966.890 m², odnosno oko 296,7 ha, što ovaj projekat svrstava medu najopsežnije poduhvate ekološke obnove u rudarskom sektoru Srbije. Projektovano završno stanje kopa obuhvata 44 etaže visine 15 m, sa rasponom od kote +620 do kote -25 mnv, dok se odlagalište prostire od kote +380 do kote +640 mnv sa etažama na svakih 20 m i generalnim nagibom kosina od 24°.
Odabrana metodologija rekultivacije zasnovana je na dvofaznom pristupu koji objedinjuje tehničku i biološku fazu, što je u skladu sa savremenim naučnim i zakonodavnim zahtevima u oblasti zaštite životne sredine pri rudarskim aktivnostima. Tehnička rekultivacija podrazumeva nivelisanje ravnih površina etaža, formiranje terasnih ravni širine 4 m na svakih 10 m visine kosine, nasipanje sloja zemljanog materijala debljine 0,3 m i pripremu površina za setvu. Na etažama površinskog kopa predviđeni su i bušačko-minerski radovi u cilju formiranja sadnih jama za drvenaste sadnice. Poseban značaj ima primena terasiranja kao mere za usporavanje oticanja površinskih voda i smanjenje intenziteta erozionih procesa na strmim kosinama s generalnim nagibom od 24°.

Biološka faza rekultivacije zasnovana je na kombinaciji zatravljivanja i pošumljavanja autohtonim vrstama, što predstavlja ekološki najodgovorniji pristup obnovi degradiranih površina. Za zatravljivanje je odabrana mešavina trava u količini 49 kg/ha, koja se sastoji od bele deteline (24,5%), žutog zvezdana (24,5%), mačijeg repa (20,5%) i prave livadske trave (30,5%). Leguminozne vrste u ovoj smeši (bela detelina i žuti zvezdan) igraju posebno važnu ulogu jer fiksiraju azot iz atmosfere i na taj način doprinose prirodnoj obnovi plodnosti siromašnog jalovinskog supstrata. Pošumljavanje predviđa primenu tri autohtone drvenaste vrste: mezijske bukve (Fagus moesiaca), hrasta kitnjaka (Quercus petraea) i klena (Acer campestre L.), raspoređenih prema specifičnim mikroekološkim uslovima svake zone odlagališta i kopa.

Odabir mezijske bukve (Fagus moesiaca) kao dominantne vrste pošumljavanja platoa i etažnih ravni odlagališta ekološki je opravdan s obzirom na izuzetno široko horizontalno i vertikalno rasprostranjenje ove vrste u Srbiji. Mezijska bukva raste na nadmorskim visinama od 40 do 1.800 m, gradi čiste i mešovite sastojine, i može

uspevati kako na krečnjačkoj, tako i na silikatnoj podlozi, uključujući siromašna i kisela staništa [1]. To je čini naročito prikladnom za rekultivaciju visinskog dela odlagališta koji se nalazi iznad 600 mnv. Hrast kitnjak (Quercus petraea) koji pokriva oko 186.000 ha šumskog fonda Srbije i dominira u brdskom i niskošumskom pojasu na visinama od 300 do 1.300 m [2], odabran je za pošumljavanje kosina odlagališta, gde svojom razgranatom korenskom mrežom doprinosi mehaničkoj stabilizaciji padina i smanjenju površinskog oticanja.
Dinamika biološke rekultivacije obuhvata dva osnovna godišnja ciklusa sa ukupno šest faza radova. U prvoj godini planira se zatravljivanje platoa E660 i etažnih ravni, sadnja hrasta kitnjaka po trouganoj šemi (oko 2.000 sadnica/ha) na kosinama, sadnja klena u redovima (oko 1.100 sadnica/ha) na terasnim ravnima, kao i sadnja mezijske bukve po kvadratnoj šemi (oko 1.100 sadnica/ha) na etažama površinskog kopa. U drugoj godini predviđeno je pošumljavanje mezijskom bukvom platoa i etažnih ravni odlagališta. Za sve sadnice predviđeno je đubrenje NPK đubrivom (15:15:15) u količini od 100 g po sadnici, što je standardna agrotehnička mera kojom se kompenzuje nedostatak pristupačnih hranljivih materija u jalovinskom supstratu. Korišćene su sadnice starosti 2+1 godinu, što obezbeđuje viši stepen preživljavanja u otežanim supstratnim uslovima.

Naučna istraživanja potvrđuju da naizmenična kombinacija hrastovih, bukovih i javorovih vrsta u rekultivaciji degradiranih rudarskih površina daje optimalne ekološke rezultate. Istraživanja sprovedena na odlagalištima u borskom rudarskom basenu pokazala su da sadnice posađene u sloju plodne zemlje daju bolje preživljavanje i fiziološku vitalnost u poređenju sa sadnjom direktno u jalovinu, a od korišćenih vrsta javor i hrast su se pokazali kao naročito uspešni pioniri na degradiranim supstratima [3]. Primena NPK gnojidbe pri sadnji, kao što je predviđeno ovim projektom, dodatno povećava stopu preživljavanja i ubrzava rast u prvim godinama razvoja zasada.

Može se zaključiti da projekat rekultivacije degradiranih površina površinskog kopa Južni Revir i odlagališta kopovske jalovine u Majdanpeku predstavlja sveobuhvatno, naučno i stručno utemeljeno rešenje, usmereno ka ostvarivanju višestrukih ciljeva: stabilizaciji terena i sprečavanju erozionih procesa, revitalizaciji degradiranog prostora uspostavljanjem novih livadsko-pašnjačkih i šumskih ekosistema, unapređenju biodiverziteta primenom autohtonih biljnih vrsta i poboljšanju vizuelnog sklada narušenog predela sa neporemećenim okruženjem. Realizacija projekta u predviđenim fazama i uz permanentni monitoring stanja

vegetacije i geomehaničke stabilnosti odlagališta ključni je preduslov za dugoročni uspeh rekultivacije i ekološku obnovu ovog rudarskog područja[4].

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada NIO u 2026. godini, br. 451-03-33/2026-03/ 200052

REFERENCE

[1] Mišić, V. (1981). Varijabilnost i ekologija bukve u Jugoslaviji. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd. [Vidi takođe: Mezijska bukva – Fagus moesiaca (Domin, Maly) Czecz., Wikipedia na srpskom jeziku: https://sr.wikipedia.org/sr-el/Мезијска_буква]

[2] Jovanović, B. (1991). Hrast kitnjak (Quercus petraea agg. Ehrendorfer 1967) u Srbiji. Srpsko šumarsko udruženje, Beograd. Dostupno na: http://www.srpskosumarskoudruzenje.org.rs/pdf/hrast_kitnjak_u_srbiji.pdf

[3] Marić, M. J. (2013). Doktorska disertacija – istraživanja rekultivacije jalovišta rudnika u Boru primenom različitih drvenastih vrsta i trava. Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru. Dostupno na: https://phaidrabg.bg.ac.rs/open/o:9539

[4] Đorđević-Miloradović, J., Miloradović, M., Savić, N. (2010). Rekultivacija i ozelenjavanje deponija jalovišta i pepelišta – Kostolac. ResearchGate. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/239938452

Miomir Mikić miomir.mikic@irmbor.co.rs
ORCID:0000-0001-7659-769x
Ivana Mikić ivana.mikic@irmbor.co.rs
ORCID:0000-0003-3841-8667
Milenko Jovanović milenko.jovanovic@irmbor.co.rs
ORCID:0000-0002-6757-4143
Danijel Kržanović danijel.krzanovic@irmbor.co.rs
ORCID:0000-0003-3841-8667