DOI broj: 10.5937/rudarstvo26076M

REKULTIVACIJA ODLAGALIŠTA O7 NA LOKACIJI RUDNIKA I FLOTACIJE ČUKARU PEKI KOD BORA

RECULTIVATION OF LANDFILL O7 ON THE LOCATION OF MINE AND FLOTATION PLANT ČUKARU PEKI NEAR BOR

Miomir Mikić, Ivana Mikić, Radmilo Rajković, Sandra Milutinović
Institut za Rudarstvo i Metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, Bor, Srbija
miomir.mikic@irmbor.co.rs

Apstrakt
Rezultat rudarskih aktivnosti u cilju eksploatacije bakra na lokaciji Čukaru Peki kod Bora predstavljaju između ostalog i degradirane površine nastale zarad izgradnje rudarskih objekata. U skladu sa zakonskom regulativom Investitor ima obavezu da degradirane površine privede prvobitnom stanju nakon završetka eksploatacije.
Degradirane površine predstavljaju odlagalište jalovine. Sve površine su predvđene za rekultivaciju koja će da obuhvati više faza. Kako su u pitanju degradirane površina na kojim ne mogu da se zasnuju kulture bez prethodnih radova, neophodno je da se na površinama obrazuje zemljani sloj od 0,5 m. Nakon toga izvrši će se rekultivacija zatravljivanjem i pošumljavanjem površina.
ključne reči*: rekultivacija, životna sredina., rudarstvo.*

Abstract
The result of mining activities aimed at the exploitation of copper at the Čukaru Peki location near Bor is represented, among other things, by the degraded areas created due to the construction of mining facilities. In accordance with the legal regulations, the Investor has the obligation to restore degraded areas to their original condition after the end of exploitation.Degraded surfaces represent a tailings dump. All areas are planned for recultivation, which will include several phases. Since these are degraded surfaces on which cultures cannot be established without previous works, it is necessary to form a 0.5 m soil layer on the surfaces. After that, recultivation will be carried out by grassing and afforestation of the areas.
keywords*: reclamation, environment, mining.*

1. UVOD

Bor sa svojom okolinom, već više od jednog veka, predstavlja centar rudarske proizvodnje i prerade bakarne rude i drugih plemenitih metala, sa jednim od najvećih rudnika bakra u Evropi.Rudarske aktivnosti započete su još davne 1904. god., kada je postojao samo jedan podzemni rudnik, da bi se kasnije rudarske aktivnosti proširile i na površinske kopove. Eksploatacija ležišta bakarne rude u Boru se trenutno odvija na dva površinska kopa: Veliki Krivelj i Cerovo, kao i podzemna eksploatacija ležišta Čukaru Peki.Na lokaciji koja se analizira u ovom radu, se nalazi borski aerodrom, koji se nalazi između Državnog puta (IB kategorije - Selište-Bor-Zaječar) #37 i Državnog puta (IIB kategorije - Vodna-Resavska pećina) #385. Takođe, na 6 kilometara severnije od predmetne lokacije se nalazi rudnik bakra ZIJIN-RTB Cooper Bor i kompleks topljenja.Na slici 1 su prostorno prikazani rudarski objekti ZIJIN Mining-a, i lokalitet odlagališta O7 koji se razmatra za rekultivaciju.

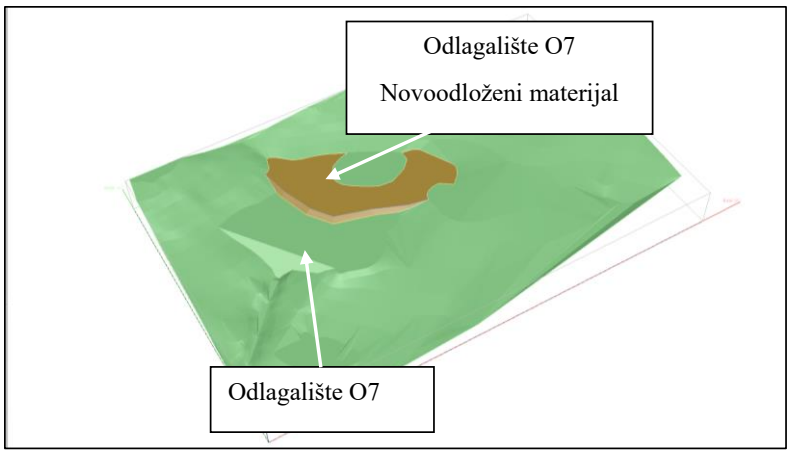


Slika 1. Prostorni raspored rudarskih objekata

Lokacija jalovišta se nalazi u slivu Borske reke, gde su protok i kvalitet vode jako pogođeni okolnim istorijskim rudarskim aktivnostima i jako su zagađeni. Ovde izabrana lokacija jalovišta, omogućava koncentrisanje izvora zagađenja, pri čemu je olakšano upravljanje uz minimalni negativan uticaj na životnu sredinu.

2. DEGRADIRANE POVRŠINE

Odlagalište O7 je predviđeno u dve etaže: E345 maksimalne visine 27 m, i E350 visine 5 m. Etažni ugao odlagališta O7 je 32° a maksimalna visina 32 m. 3D model odlagališta O7 je napravljen u programe *Gems* , i prikazan je na slici 2.



Slika 2. 3D model završnog stanja odlagališta O7

Količina materijala in situ iznosi 93.952 m^3. Sa koeficijentom rastresitosti od 1,4 potrebna zapremina za odlaganje iznosi 131.533 m^3. Ova količina materijala odložiće se na etaži E350. Pristupni put odlagalištu je sa postojećih transportnih puteva sa istočne strane odlagališta. Potrebna zapremina za odlaganje materijala iz podzemnih radova po ovom projektu na odlagalištu O7 iznosi 131.533 m^3, tako da projektovano odlagalište zadovoljava ovaj uslov.

3. IZBOR METODE REKULTIVACIJE

Osnovni cilj rekultivacije oštećenih zemljišta, je uspostavljanje funkcije upravljanja zemljišnim prostorom kroz popravku fizičkih, hemijskih i bioloških parametara

zemljišta koji je narušeni antropogenim aktivnostima u ovom slučaju eksploatacijom mineralnih sirovina i formiranje spoljnih odlagaišta-deposola.
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.Cilj rekultivacije je da se kroz niz aktivnosti i mera tehničke i biološke rekultivacije koje su predviđene projektom, u nekom obliku ,,vrati'' ono što je prethodno eksploatacijom pozajmljeno od prirode, a degradirano je usled rudarskih aktivnosti.Prioritetni ciljevi rekultivacije deponivanih jalovinskih materijala, pepelišta i flotacijskih materijala, su privođenje određenim visokotolerantnim biljnim kulturama kao i uspostavljanje određene bio-ekološke ravnoteže.

Određene biljne vrste svojim brzim razvojem korenovog sistema i nadzemnom vegetativnom masom doprinose stabilnosti rastresitih deponovanih tehnogenih materijala, a uspeh gajenja biljaka na takvim površinama pre svega zavisi od primenjenog nivoa i stepena mera tokom postupka rekultivacije. U svetu i kod nas za rekultivaciju degradiranih površina primenjuje se :

- autorekultivacija
- polurekultivacija i
- optimalna rekultivacija

Analiza stanja predela nakon izvršenih rudarskih radova na istraživanju mineralnih sirovina, na lokalitetu Čukaru Peki, ukazuje, da će stvoreni uslovi na kraju perioda eksploatacije biti takvi da koncepciju tehničke rekultivacije treba prilagoditi funkciji postizanja vizuelnog sklada narušenog okruženja sa okolnim neporemećenim okruženjem. Kasnije i biološkom rekultivacijom, setvom i sadnjom odabranim biljnih i drvenastih vrsta maksimalno ih prilagoditi zemljišnim i ekološkim uslovima koji vladaju na novonastalim degradiranim površinama.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, sprečavanje erozionih procesa, regulisanje oticanja viška površinskih voda.
Za rekultivaciju degradiranih površina, biće primenjena rekultivacija sa sledećim fazama:

3. Tehnička rekultivacija koja podrazumeva:

- nivelisanje završnih ravni - platoa odlagališta,
- planiranja zemljanog materijala po ravnim površinama,
- planiranja zemljanog materijala po kosim površinama

4. Biološka rekultivacija koja podrazumeva kompleks biotehničkih i fitomelioralivnih mera u cilju ozelenjavanja površina na prethodno pripremljenim površinama. Sastoji se od skupa mera zatravljivanja i pošumljavanja degradiranih površina. U okviru ovih mera spada niz Agro tehničkih mera kao što su đubrenje, oranje, tanjiranje, drljanje, predsetvena priprema, setva, sadnja, đubrenje i nega biljnih i drvenastih vrsta.

4. TEHNIČKI OPIS REKULTIVACIJE

Rudarski radovi na predmetnom području Čukaru Peki, podrazumevaju degradiranje okolnog zemljišta pri formiranju projektovanog odlagališta jalovine (odlagalište O7). Pri tome će se degradirati površina od 64.700 m^2. Odlaganjem jalovine na spoljašnjim odlagalištima formiraju se ravne i kose površine. Ravne površine čine završne ravni odlagališta sa neisplaniranim gomilama raskrivke u završnom procesu odlaganja. Prema iskustvima sa odlagališta iz Bora i Majdanpeka, iskipana jalovina (raskrivka) na završnoj ravni ostavlja se u vidu gomila iskipanih jedne do druge kupastog oblika kako bi sprečile sakupljanje atmosferskih voda i stvaranje bara i jezera, koje utiču na stabilnost odlagališta. Ove površine pre pristupanja biološke rekultivacije nivelišu se buldozerom.

TEHNIČKA REKULTIVACIJA

Rekultivacioni radovi tehničke rekultivacije izvodiće se po platoima i kosinama odlagališta jalovine. U okviru tehničke rekultivacije, da bi se osiguralo izvođenje radova, vrši će se više operacija i to: otkopavanje, utovar, transport, istovar zemljanog materijala po degradiranim površinama.

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

- nivelisanje ravnih površina-platoa odlagališta;
- formiranje sloja od zemljanog materijala-susptrata visine 0,5 m preko platoa i kosine i planiranje, ravnjanje formiranog sloja;

- radovi u cilju obaranja ugla kosine-izrada terasne ravni
- priprema površina za setvu trave.

Prva faza obuhvata radove na nivelisanju površina platoa odlagališta. Nakon toga se pristupa radovima na formiranju sloja zemljanog materijala-supstrata debljine 0,5 m na platou odlagališta K+345, kao i na kosinama. Da bi se formirali slojevi, vrši će se utovar i transport zemljanog materijala sa zemljanog odlagališta, koje se nalazi severnoistočno od jalovišta. Prednost zemljanog odlagališta je što se nalazi u neposrednoj blizini, i sve to utiče na smanjenje troškova. Nakon toga se vrši rasplaniranje zemljišnog materijala po platou buldozerom. Za ove radove biće angažovana sledeća mehanizacija: buldozer, kamion i bager. Ova mehanizacija radi u sprezi na obrazovanju sloja visine 0,5 m.

Druga faza obuhvata agrotehničke radove na pripremi formiranog zemljanog sloja visine 0,5m, za setvu travne smeše na odlagalištu O7.

BIOLOŠKA REKULTIVACIJA

Biološka faza rekultivacije obuhvata sledeće radove:

- Na ravnom platou odlagališta jalovine primeniće se mera biološke rekultivacije koja podrazumeva zatravljivanje i pošumljavanje;
- Na kosinama odlagališta primeniće se mera biološke rekultivacije, na formiranim terasama obaviće se mere koje podrazumevaju zatravljivanje i pošumljavanje;

Unošenjem organskih materija u vidu humusa u supstrat ubrzava se mikrobiološki proces i omogućava se kontuirani priliv asimilativa za razvoj biljaka. Tehnička faza rekultivacije uključuje planiranje zemljanog materijala koji je investitor obezbedio za izvođenje radova na projektovanim površinama odlagališta na Južnom reviru. Nakon toga se vrši po redu priprema ovih površina za setvu trave.

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:

- Betula alba L. (breza)
- Acer campestre L. (klen)

U ovom slučaju biološka faza rekultivacije podrazumeva kombinaciju pošumljavanja i zatravljivanja degradiranih površina. Zatravljivanje će da obuhvati površine platoa i kosina odlagališta O7. Ako se steknu vremenski i zemljišni uslovi, zatravljivanje je poželjno raditi u jesen.Na kosini odlagališta jalovine izvrši će se pošumljavanje klenom. Izrađena terasna ravan po kosini odlagališta će se takođe pošumljavati i to klenom. Na ravnoj površini odlagališta – platou izvršiće se zatravljivanje a nakon toga pošumljavanje brezom.Sadnja drvenastih kultura po kosinama odlagališta jalovine vrši će se po trouganoj šemi na međusobnom rastojanju sadnica u redu od 4 m a između redova 5 m. To znači da se na jednom hektaru može zasaditi oko 500 sadnica.Sadnja drveća na platou (E345) odlagališta jalovine vrši će se na međusobnom rastojanju sadnica od 4 m a između redova 5 m. Na ovaj način će se postavljati oko 500 sadnica po hektaru. Za sadnju će se koristiti sadnice starosti 2+1 godina.

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 E350, E345 i kosina odlagališta
I	2	Sadnja klena po trouganoj šemi i to: Klen se sadi na rastojanju od 3 m sa oko 1100 sad/ha, starosti 2+1 godina, sa dodavanjem NPK (15:15:15) u količini od 100 g/sadnici	Kosine odlagališta
I	3	Sadnja breze po kvadratnoj šemi i to: Klen se sadi u redovima na rastojanju od 3m sa oko 1100 sad/ha, starosti 2+1godina, sa dodavanjem NPK (15:15:15) u količini od 100 g/sadnici	Platoi odlagališta E350 i E345

5. ZAKLJUČAK

Rudarski radovi na području Čukaru Peki neminovno dovode do degradacije okolnog zemljišta, pre svega usled formiranja spoljašnjeg odlagališta jalovine O7. Ukupna degradirana površina iznosi 64.700 m², što predstavlja značajan ekološki pritisak na prostor u neposrednoj okolini rudarskog kompleksa. Imajući u vidu obim i karakter degradacije, primena sistematskog i sveobuhvatnog projekta rekultivacije nije samo zakonska obaveza, već i ekološki imperativ koji treba da osigura dugoročnu stabilnost prostora i obnavljanje narušenih prirodnih funkcija.

Projektovana rekultivacija odlagališta O7 zasnovana je na dvofaznom pristupu koji obuhvata tehničku i biološku fazu, što je u skladu sa savremenim naučnim i stručnim standardima u oblasti obnove rudarskih degradiranih površina. Tehnička rekultivacija podrazumeva nivelisanje platoa odlagališta, formiranje supstratnog sloja od zemljanog materijala debljine 0,5 m, obaranje ugla kosina izradom terasnih ravni, kao i pripremu površina za setvu. Ovaj redosled operacija, koji se izvodi mehanizacijom (buldozer, bager, kamion), obezbeđuje stabilnost odlagališta i neophodne pedološke uslove za naknadnu vegetativnu obnovu.

Istraživanja sprovedena na odlagalištima u sličnim rudarskim sredinama u Srbiji potvrdila su da kombinacija zatravljivanja i pošumljavanja predstavlja najefikasniji pristup biološkoj stabilizaciji jalovišta. Marić i sar. (2013) su u okviru doktorske disertacije odbranjene na Tehničkom fakultetu u Boru utvrdili da je primena većeg broja drvenastih vrsta u rekultivaciji jalovišta rudnika u Boru moguća i da su najbolje rezultate pokazale sadnice posađene u sloju plodne zemlje na jalovini, pri čemu su bagrem, jasen i javor dostigli najveće preživljavanje i fiziološku vitalnost [1]. Ovi zaključci direktno podupiru odabir klena (Acer campestre L.) i breze (Betula alba L.) kao osnovnih vrsta pošumljavanja na odlagalištu O7, s obzirom na njihovu adaptabilnost i relativno dobru pionirsku sposobnost na siromašnim supstratima.

Zatravljivanje odlagališta travnom smešom sastavljenom od bele deteline, žutog zvezdana, mačijeg repa i prave livadske trave (ukupno 49 kg/ha) obezbeđuje brzu pokrivenost površine, smanjuje eroziju i poboljšava mikrobiološku aktivnost supstrata. Leguminozne komponente smeše (bela detelina i žuti zvezdan) od posebnog su značaja jer fiksiraju atmosferski azot i na taj način prirodno obogaćuju siromašno jalovinsko tlo. Unošenje humusa u supstrat, kako je predviđeno projektom, ubrzava pedogenezne procese i stvara uslove za kontinuirani razvoj biljnog pokrivača.Na osnovu dugogodišnje prakse rekultivacije u Kostolačkom ugljenom basenu, potvrđeno je da kombinovana šumska i travnjačka rekultivacija daje optimalne ekološke i vizuelne rezultate. Đorđević-Miloradović i sar. (2010)

dokumentuju da je do 2008. godine u Kostolcu biološki rekultivisano ukupno 749 ha, od čega je šumska rekultivacija primenjena na 388 ha, a livadska na 35 ha, što svedoči o primenljivosti ovakvog pristupa na rudarskim odlagalištima u Srbiji [2]. Rezultati ukazuju da pravilno izveden program rekultivacije može u potpunosti da transformiše degradirane površine rudnika u funkcionalne zelene površine integrisane u okolni pejzaž.

Na međunarodnom nivou, Schulz (1996) u svom radu o rekultivaciji odlagališta rudarskog otpada u oblasti Rura u Nemačkoj ističe da je od kasnih 1970-ih odlagališta rudarskog otpada neophodno planirati kao integralne elemente pejzaža, uz neposredno ozelenjavanje odmah nakon formiranja završnih etaža [3]. Ovaj pristup, koji se u Nemačkoj primenjuje decenijama, u potpunosti korespondira sa metodologijom usvojenom u projektu rekultivacije odlagališta O7, gde se vegetativno uređenje planira u paralelnom toku sa faznim formiranjem odlagališta.

Pošumljavanje kosina klenom u troyraonoj šemi sa razmakom 4 × 5 m, kao i zasađivanje breze na platou odlagalište K+345, predstavlja tehničko rešenje koje osigurava optimalnu gustinu od oko 500 sadnica po hektaru. Korišćenje sadnica starosti 2+1 godina dodatno povećava procenat preživljavanja i ubrzava uspostavljanje trajnog biljnog pokrivača. Sadnja u jesen, kada su to vremenski i zemljišni uslovi dozvoljavaju, preporučljiva je praksa jer omogućava adekvatno ukorenjavanje pre vegetacijske sezone.

Može se zaključiti da predložena rekultivacija odlagališta jalovine O7 na području Čukaru Peki predstavlja tehnički i ekološki utemeljeno rešenje koje, primenom savremenih metoda tehničke i biološke rekultivacije, treba da obezbedi stabilizaciju degradiranih površina, sprečavanje erozije, uspostavljanje vegetativnog pokrivača i dugoročnu ekološku ravnotežu na rekultivisanom prostoru. Uspešna realizacija projekta zahteva dosledno sprovođenje svih planiranih faza radova, odgovarajući izbor biljnih vrsta prilagođenih lokalnim ekološkim uslovima, kao i kontinuirani monitoring stanja vegetacije i geomehaničke stabilnosti odlagališta tokom celog perioda rekultivacije.

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] 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

[2] 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

[3] Schulz, D. (1996). Recultivation of mining waste dumps in the Ruhr area, Germany. Water, Air, and Soil Pollution, 91, 89–98. https://doi.org/10.1007/BF00280925

[4] Gradjevinarstvo.rs (2009). Rekultivacija degradiranog zemljišta kod površinske eksploatacije. Dostupno na: https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/463/820/rekultivacija-degradiranog-zemljista-kod-povrsinske-eksploatacije

Miomir Mikić miomir.mikic@irmbor.co.rs
ORCID:0000-0001-7659-769x
Ivana Mikić ivana.mikic@irmbor.co.rs
Radmilo Rajković radmilo.rajkovic@irmbor.co.rs
ORCID:0000-0002-6757-4143
Sandra Milutinović sandra.milutinovic@irmbor.co.rs