

UDK: 622.271:504.6(045)=163.41

DOI: 10.5937/bakar2202031J

NAUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo i zaštita životne sredine

Primljen: 28.11.2022.

Prerađen: 05.12.2022.

Prihvaćen: 08.12.2022.

## TEHNOLOGIJA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE I UPRAVLJANJE ZAŠTITOM ŽIVOTNE SREDINE

## TECHNOLOGY OF SURFACE EXPLOITATION AND MANAGEMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

Ivan Jovanović<sup>1</sup>, Novica Staletović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

<sup>2</sup>Univerzitet Union „Nikola Tesla“, Fakultet za ekologiju i zaštitu  
životne sredine, Cara Dušana 62-64, 11000 Beograd

### Izvod

*Na osnovu podataka dobijenih istražnim bušenjem, ispitivano ležište rude bakra spada u grupu ležišta vezanih za intermedijarne vulkansko - intruzivne magmatske komplekse. Radi se o kompaktnom rudnom telu koje ima oblik iskošenog valjka i koga sačinjavaju minerali bakra zajedno sa hloritisanim i kaolinisanim andezitom. Usled eksploatacije rudnog ležišta dolazi i do uticaja tehnoloških parametara na životnu sredinu. Cilj rada je naglasiti da je značajno upravljati životnom sredinom i kod površinske eksploatacije rudnih ležišta.*

**Ključne reči:** površinska eksploatacija, ležište rude bakra, upravljanje zaštitom životne sredine

### Abstract

*On the basis of data obtained by the exploratory drilling, the researched copper ore deposit belongs to a group of deposits related to intermediate volcanic - intrusive magmatic complexes. It is a compact ore body with the shape of an inclined cylinder and is composed of copper minerals together with the chloritized and kaolinized andesite. There is also an impact of technological parameters on the environment due to the exploitation of the ore deposit. The aim of this paper is to emphasize that it is important to manage the environment in surface exploitation of ore deposits.*

**Keywords:** surface exploitation, copper ore deposit, management of environmental protection

## 1. UVOD

Ležište rude bakra „Brdo“ nalazi se u neposrednoj blizini naselja Rudnik. Rudnik je naselje u Srbiji, u opštini Gornji Milanovac koji pripada Moravičkom okrugu. Nalazi se na istoimenoj planini. Smešten je između 500 m i 700 m nadmorske visine. Rudnik se nalazi na oko 100 km južno od Beograda, 15 km severno od Gornjeg Milanovca i na oko 50 km od Kragujevca [1].

Ležište se nalazi u oblasti umereno-kontinentalne klime sa izraženim lokalnim karakteristikama. Hidrogeografske tačke i heterogena vegetacija značajno dopunjuju sliku klimatske autentičnosti podneblja. Treba istaći specifične prednosti ovih klimatskih odlika: niže letnje temperature u odnosu na obližnje doline i niske predele Šumadije i Beograda, posledica su, pre svega, nadmorske visine rudničkog gorja, pojačane cirkulacije vazduha, velike količine padavina i znatnog prostranstva šumskog pokrivača. Prosečne godišnje temperature niže su u odnosu na Beograd i okolna mesta. To se odnosi i na maksimalne temperature gde je razlika još veća i iznosi više od 4-5 stepeni. Broj dana sa temperaturama jednakim ili višim od 30 stepeni je samo 5. Pojačana cirkulacija vazduha je posledica postojanja mnoštva dolina koje se protežu vertikalno i stvaraju prijatnu svežinu u uslovima kada su temperature čak i visoke [2].

Rudnik čini hidrografski čvor u Šumadiji, razvođe između reka Velike Morave, Zapadne Morave i Kolubare. Sa severne strane planinu opkoljava reka Jasenica, desna pritoka Velike Morave, sa zapadne izvorišni kraci Despotovice, leve pritoke Zapadne Morave, a sa južne i jugoistočne Gruža, takođe leva pritoka Zapadne Morave. Drugim rečima, područje planine Rudnik izvorište je najvećih šumadijskih reka. Pored pomenutih, tu su i Lepenica, desna pritoka Velike Morave, i Ljig, leva pritoka Kolubare [2].

Geografski položaj ležišta u odnosu na Gaus-Kriggerov koordinatni sistem određen je pomoću 4 trigonometrijske tačke čije su koordinate date u Tabeli 1.

**Tabela 1.** Geografski položaj ležišta određen sa 4 trigonometrijske tačke

	<b>Y<sub>i</sub> (m)</b>	<b>X<sub>i</sub> (m)</b>
<b>1</b>	7.471.742,64	4.805.560,39
<b>2</b>	7.469.965,57	4.804.180,67
<b>3</b>	7.471.945,24	4.802.268,23
<b>4</b>	7.474.031,75	4.803.659,64

Najviša kota terena u blizini ležišta je k +650 m, a najniža k +390 m.

## 2. GEOLOŠKI PODACI O LEŽIŠTU

Na osnovu podataka dobijenih istražnim bušenjem, ležište rude bakra „Brdo“ spada u grupu ležišta vezanih za intermedijarne vulkansko - intruzivne magmatske komplekse. Radi se o kompaktnom rudnom telu koje ima oblik iskošenog valjka i koga sačinjavaju minerali bakra zajedno sa hlortisanim i kaolinisanim andezitom. Determinisani su sledeći rudni minerali: halkopirit, bornit, halkozin, molibdenit, tetraedrit, kovelin, digenit [3].

### 3. OPIS LEŽIŠTA

Ležište je u horizontalnom preseku izduženog oblika sa približnim pravcem pružanja istok-zapad. Dimenzije ležišta u horizontalnom preseku su po dužini maksimalno 1.461,09 m, a maksimalna širina iznosi 394 m. Površina koju ležište zauzima u planu je oko 561.239,81 m<sup>2</sup>.

U vertikalnom preseku ležište je, takođe, izduženog oblika sa padom u pravcu zapad-istok. Prosečan ugao zaleganja ležišta iznosi 13°.

Mineralizacija je intenzivna u celom ležištu, dok je prelaz prema okolnim stenama oštar.

Dubinskim istražnim bušotinama sa jezgrovanjem je ustanovljeno da se, u okolini u kojoj se pozicioniralo ležište, nalazi veliki broj raseda. Ovi rasedi su nastali kao rezultat postrudnih deformacija, koje su imale glavnu ulogu u oblikovanju i definisanju rudnog tela. Zahvatanje ležišta rasedima dovelo je do pojave više sistema pukotina u okviru rudnog masiva, a što se odrazilo na degradaciju osnovne stenske mase. Pukotinski sistemi su pretežno koncentrisani u samom ležištu, dok su krovinske i podinske stene kompaktnije.

Različiti tipovi stena koja se nalaze u zoni ležišta imaju različite hidrogeološke karakteristike. Složena građa ležišta, stvarana tokom duge geološke istorije, postojanje stena sa različitom strukturom i poroznosti, intenzivna tektonska poremećenost stenskih masiva, i dr., uslovi su složenih hidrogeoloških odnosa u terenima šire okoline.

Izmenjene vulkanske stene su dosta ispucale. Konstantovan je veliki broj pukotina, koje uslovljavaju dobru vodopropusnost. U njima postoji mogućnost akumuliranja podzemnih voda. Ukupna količina poroznosti se sa dubinom smanjuje, pre svega zbog stisnutosti pukotina usled pritiska stenskih masa. Neretko su pukotine ispunjene gipsom, što ga čini hidrogeološkim izolatorom. S obzirom da ležište zaleže na relativno velikoj dubini, ne očekuje se veliki dotok podzemnih i atmosferskih voda koje gravitiraju naniže, kako u krovini, tako i u podini. Prilikom eksploatacije, usled efekta miniranja, može doći do pojave voda u rasedima i pukotinama, ali se očekuje da količine tih voda budu neznatne i da ne utiču na eksploataciju.

### 4. INŽENJERSKO – GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

Na uzorcima koji su dobijeni iz istražnih bušotina, takođe, obavljena su i geomehanička ispitivanja radi što boljeg upoznavanja sa osobinama kako samog ležišta, tako i okolnih stena.

Geomehanička ispitivanja vršena su na više uzoraka uzetih iz istražnih bušotina i rudarskih radova i rezultati su prikazani u Tabeli 2.

**Tabela 2.** Fizičko-mehaničke karakteristike ležišta i okolnih stena

Fizičko-mehaničke karakteristike	Jedinica mere	Ruda bakra	Andezit	Dolomit
Zapreminska masa	t/m <sup>3</sup>	2,75	2,79	3,02
Čvrstoća na pritisak	kN/m <sup>2</sup>	65,837	36,939	84,239
Čvrstoća na istezanje	kN/m <sup>2</sup>	11,670	51,98	13,612
Čvrstoća na savijanje	kN/m <sup>2</sup>	14,736	14.200	14,200
Čvrstoća na smicanje	kN/m <sup>2</sup>	10,602	9.091	9,091
Kohezija	kN/m <sup>2</sup>	10,295-19,025	32,14	13,337-20,790
Ugao unutrašnjeg trenja	°	30°30' – 40°20'	30°	36°10'37°20'
Modul elastičnosti	kN/m <sup>2</sup>	17,245-57,325	/	20182,1-39931,2
Poroznost	%	3,18-12,54	3.3	2,84-3,55

Istraživanja ovog ležišta vršena su geološkim, geofizičkim i geohemijskim prospekcijama, kao i dubinskim istražnim bušotinama sa jezgrovanjem. Bušotine su izrađene u kvadratnoj mreži dimenzija 75 x 100 m. Uzorci dobijeni ovim bušotinama dati su na dalju analizu u laboratoriji.

Na osnovu mreže istražnih bušotina dimenzija 75 x 100 m izrađeno je i 7 paralelnih vertikalnih uzdužnih profila, koji ujedno služe i kao metoda određivanja geoloških rezervi za ovo ležište.

Kao druga metoda usvojena je metoda paralelnih ravni ležišta koja ujedno služi i kao provera rezervi utvrđenih preko paralelnih uzdužnih profila.

Razlika u zapreminama između ove dve metode treba da bude u granicama od 5 % do 10 %, a računa se po obrascu:

$$\Delta_V = \frac{V_{geol_{vece}} - V_{geol_{manje}}}{V_{geol_{vece}}} \times 100 [\%]$$

$$\Delta_V = \frac{30.734.746,68 - 28.420.229,38}{30.734.746,68} \times 100 = 7,53 \%$$

Na osnovu dobijenog rezultata, odstupanja su u dozvoljenim granicama tolerancije (do 10%) te se usvaja da utvrđene geološke rezerve ležišta rude bakra „Brdo“ iznose [4]:

$$Q_{geol} = 28.420.229,38 \text{ m}^3$$

Prema stepenu istraženosti, rudne rezerve se razvrstavaju u različite kategorije. U našoj zemlji su po Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima iz 1979. godine

(„Službeni list“ SFRJ, br. 53/79), na osnovu stepena istraženosti i stepena poznavanja kvaliteta sirovine, utvrđene rezerve mineralnih sirovina i svrstavaju se u sledeće kategorije: A, B, C1, C2, D1, D2. Rezerve A, B i C1 kategorije razvrstavaju se u bilansne i vanbilansne. Rezerve C2, D1 i D2 kategorije smatraju se potencijalnim i ne razvrstavaju se u kategorije. Geološke rezerve proračunate za ovo ležište spadaju u bilansne rezerve, odnosno spadaju u C1 kategoriju rezervi.

Na osnovu podataka dobijenih izradom etažnih karti i na osnovu proračuna zapremina zahvaćene rude po etaži dolazi se do podatka o eksploatacionim rezervama. Eksploatacione rezerve iznose [4]:

$$Q_{exp} = 74.332.080,35 \text{ t}$$

## 5. OSNOVNA KONCEPCIJA EKSPLOATACIJE LEŽIŠTA RUDE BAKRA

Koncepcija eksploatacije na površinskom kopu „Brdo“ je sledeća: [4]

1. Izrada platoa za smeštaj drobiličnog postrojenja na koti k +420m.
2. Izrada glavnog pristupnog puta sa platoa na koti k +420 m do etaže E640 na koti k +640 m. Put se izrađuje po terenu u okviru zahvata kopa kao dvosmerni, širine 15,32 m i dužine 2.254,35 m.

Izrada još 2 pristupna puta koji vode do odlagališta.

Jedan pristupni put se izrađuje sa kote k +490 m, od glavnog pristupnog puta do odlagališta J1 na koti k +490 m, kao dvosmerni put širine 15,32 m i ukupne dužine 294,87 m. Dužina od 51,9 m je u okviru zahvata kopa, dok ostatak od 242,97 m nije.

Drugi pristupni put se izrađuje sa kote k+420 m, od platforme do odlagališta J2 i J3 čiji je početak na koti k+420 m. Radi se kao dvosmerni put širine 15,32 m i ukupne dužine 429,12 m. Ceo put se nalazi izvan zahvata kopa.

Svi delovi pristupnih puteva koji se nalaze u okviru zahvata kopa se sukcesivno uništavaju sa napredovanjem eksploatacije sa viših ka nižim etažama, odnosno sa viših ka nižim kotama.

3. Otvaranje i otkopavanje na najvišoj etaži E640 neće se raditi bušačko-minerskim radovima, već ripovanjem i buldozerskim preguravanjem do utovarnih tačaka.
4. Etaže u visinskom delu kopa su etaže od kote k+640 m do etaže na koti k+420 m. Koncepcija odlaganja jalovine sa ovih etaža je sprovedena tako što se jalovina delimično odlaže na odlagalište J1, J2 i na odlagalište J3.
5. Od nivoa etaže na koti k+420 m kop prelazi u dubinski tip kopa. Jalovina sa etaža iz dubinskog dela kopa transportuje se na jalovište J3, gde se transportuje i deo jalovine iz visinskog dela kopa. Nakon postizanja

projektovane visine jalovišta J2 do kote k+420 m, sukcesivno se izrađuje visinsko odlagalište J3 do kote +520 m.

6. Radovi na kopu će se odvijati diskontinualnom tehnologijom otkopavanja i transporta koja ima sledeće faze:
  - bušenje i miniranje,
  - utovar odminiranog materijala bagerima,
  - transport rude i jalovine kamionima,
  - odlaganje jalovine,
  - odvodnjavanje, i
  - pomoćne operacije.

## 6. UPRAVLJANJE ZAŠTITOM ŽIVOTNE SREDINE

Usled eksploatacije rudnog ležišta dolazi i do uticaja tehnoloških parametara na životnu sredinu. Stoga je značajno upravljati životnom sredinom i kod površinske eksploatacije navedenog ispitivanog rudnog ležišta.

Upravljanje životnom sredinom predstavlja deo dobre poslovne prakse u svim proizvodnim organizacijama koje imaju jasnu strategiju i čiji je cilj zasnovan na stalnom unapređenju svojih tehnoloških procesa. U ovom delu rada definišaće se osnovni principi i elementi za upravljanjem životnom sredinom u cilju smanjenja ekoloških problema koji nastaju tokom površinske eksploatacije rudnog ležišta.

Principi i elementi upravljanja životnom sredinom obuhvataju [5]:

- Politiku zaštite životne sredine.
- Planiranje.
- Verifikaciju implementacije i korektivnih mera.
- Pregled i poboljšanje.
- Kontinuirano usavršavanje.

U suštini, upravljanje životnom sredinom odnosi se na upravljanje ljudskim aktivnostima i njihovim uticajima, a ne samo na upravljanje prirodnim uticajima.

Upravljanjem zaštitom životne sredine treba da obezbedi da se ne premaši kritična granica životne sredine, kao i da se radi na smanjenju i ublažavanju ekoloških problema.

Upravljanje životnom sredinom kod površinske eksploatacije rudnog ležišta se može definisati kao proces koji se odnosi na interakciju između čoveka i okoline koja ima za cilj da identifikuje:

- Koji su ekološki poželjni ishodi?
- Koja su fizička, ekonomska, društvena, kulturna i tehnološka ograničenja za postizanje ovih rezultata?
- Koje su najbolje opcije za postizanje ovih rezultata?

Upravljanje životnom sredinom se fokusira na implementaciji, praćenju, kontroli u cilju očuvanja životne sredine.

Kod tehnologije površinske eksploatacije ciljevi upravljanja životnom sredinom moraju da uključe:

- Prevenciju i rješavanje ekoloških problema.
- Utvrđivanje granica.
- Uspostavljanje i održavanje posebne organizacione celine koja će efikasno istraživati životnu sredinu, vršiti praćenje i upravljanje.
- Upozoravanja na opasnost i identifikovanje načina za njihovo prevazilaženje.
- Održavanje i poboljšavanje postojećih resursa.

Ovako organizovani sistem se tumači kao niz međusobno povezanih elemenata koji rade zajedno da bi se postigao jasno definisan cilj. Stoga se može reći da se sistem upravljanja životnom sredinom sastoji od skupa međusobno povezanih elemenata koji rade zajedno za postizanje cilja efikasnog upravljanja životnom sredinom.

Najbolje za funkcionisanje sistema upravljanja životnom sredinom kod površinske eksploatacije rudnog ležišta je da se uvede standard. Međunarodni standard ISO 14001 je standard za menadžment koji ima za cilj podržavanje sveobuhvatne zaštite životne sredine. Standard je primenljiv na sve tipove i veličine proizvodnih organizacija i može se prilagoditi različitim geografskim, kulturnim i društvenim uslovima.

Ovim standardom se utvrđuju zahtevi koji se odnose na sistem od upravljanja životnom sredinom, kako bi mu se omogućilo da razvije i implementira politiku i ciljeve zaštite životne sredine vodeći računa o svim zakonskim i drugim propisima.

## **ZAKLJUČAK**

Cilj upravljanja životnom sredinom je poboljšanje kvaliteta ljudskog života. Glavna briga upravljanja životnom sredinom je zadovoljavanje i unapređenje ljudskih potreba na održivoj osnovi uz pravljenje minimalne štete prirodnim staništima i ekosistemima.

Sistem upravljanja životnom sredinom u površinskoj eksploataciji rudnih ležišta se odnosi na upravljanje ekološkim programima od strane proizvodne organizacije na planski, sveobuhvatan, sistematičan i dokumentovan način. On uključuje organizacionu strukturu, planiranje i resurse za razvoj, sprovođenje i održavanje politike zaštite životne sredine.

Upravljanje zaštitom životne sredine služi kao sredstvo za poboljšanje ekoloških performansi i obezbeđuje sistematičnost u načinu kojim proizvodna organizacija upravlja poslovima životne sredine.

Najrasprostranjeniji standard za životnu sredinu i upravljanje rizikom u površinskoj eksploataciji rudnih ležišta je standard ISO 14001.

Povećanjem svesti o ekološkim problemima izazvanim ekonomskim i privrednim aktivnostima u oblasti površinske eksploatacije rudog ležišta, dovelo je do pojave sposobnosti proizvodne organizacije da upravlja svojim okruženjem. Pravilnim sprovođenjem ekoloških tehnika i alatima upravljanja, ona može da upravlja svojim uticajem na životnu sredinu, da smanji potrošnju energije i emisije štetnog otpada, da poveća efikasnost korišćenja voda i postigne bolje upravljanje otpadom.

Prednosti korišćenja sistema upravljanja životnom sredinom dovode do ekonomske koristi kao što su niži troškovi i naknade u vezi sa životnom sredinom i direktne uštede kroz smanjenje izvora koji ugrožavaju životnu sredinu.

## ZAHVALNOST

*Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansijsku podršku naznačenu br. 451-03-68/2022-14/200052.*

## LITERATURA

- [1] <http://rudnik.in.rs/rudnik/geografske-odlike.html>
- [2] Strateški master plan održivog razvoja planine Rudnik od 2014. do 2024, str. 22-27.
- [3] Živorad Milićević, Petrografija (predavanja), Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, 2003, str. 75-79.
- [4] Ivan Jovanović, Tehnologija površinske eksploatacije, Seminarski rad, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, 2021.
- [5] Branislav Anđelković, Osnovi sistema zaštite, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Prvo izdanje, Niš, 2010.