

UDK: 628.4.043:622.271(045)=163.41

DOI: 10.5937/bakar2402001K

NAUČNI RAD

Oblast: Rudarsko inženjerstvo

Primljen: 11.10.2024.

Prerađen: 08.11.2024.

Prihvaćen: 13.11.2024.

**NOV TEHNOLOŠKI PRISTUP ODLAGANJU RUDARSKOG OTPADA
U PROCESU EKSPLOATACIJE METALIČNIH MINERALNIH
SIROVINA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA**

**A NEW TECHNOLOGICAL APPROACH TO THE DISPOSAL OF
MINING WASTE IN THE PROCESS OF EXPLOITATION OF
METALLIC MINERAL RAW MATERIALS IN SURFACE MINES**

Daniel Kržanović^{1a}, Miljan Gomilanović^{1b}, Milenko Jovanović^{1c},
Radmilo Rajković^{1d}, Sandra Milutinović^{1e}

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Alberta Ajnštajna 1, 19210 Bor

^{1a}E-mail: daniel.krzanovic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3841-8667>

^{1b}E-mail: miljan.gomilanovic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1209-7423>

^{1c}E-mail: milenko.jovanovic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6757-4143>

^{1d}E-mail: radmilo.rajkovic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5905-6613>

^{1e}E-mail: sandra.milutinovic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0146-8636>

Izvod

Rudarska aktivnost je takvog karaktera da odlaganje rudarskog otpada predstavlja neizostavnu tehnološku operaciju prilikom eksploatacije mineralnih sirovina.

Nov tehnološki pristup odlaganju rudarskog otpada, koji je prezentovan u ovom radu, predviđa da se sav rudarski otpad koji nastaje tokom otkopavanja i prerade rude na površinskim kopovima i u flotaciji odlaže na integrisanim odlagalištima jalovine. Na taj način eliminiše se u potpunosti izgradnja flotacijskog jalovišta, odnosno eliminiše se stalni rizik koji po životnu okolinu, objekte i stanovništvo, koji se nalaze nizvodno od prvobitno planirane lokacije flotacijskog jalovišta, može da nastane usled akcidentne situacije.

Ključne reči: rudarski otpad, integrisano odlaganje, površinska eksploatacija

Abstract

The disposal of mining waste is an indispensable technological operation during the exploitation of mineral raw materials and mining activity.

A new technological approach to the disposal of mining waste, which is presented in this paper, predicts that all mining waste generated during the excavation and processing of ore in open pit mines and in flotation is disposed of in integrated tailings dumps. In this way, the construction of a flotation tailings pond is eliminated, i.e., the permanent risk that may arise due to an accident situation for the environment, facilities and population located downstream of the originally planned location of the flotation tailings pond is eliminated.

Keywords: mining waste, integrated disposal, surface mining

1. UVOD

Kopovska jalovina i flotacijska jalovina predstavljaju materijal koji se dobija u toku eksploatacije rudnih ležišta i koji se označavaju kao rudarski otpad. Kopovska jalovina nastaje u procesu otkopavanja rude i neophodno je izvršiti njeno izmeštanje kako bi proces mogao nesmetano da se odvija, dok flotacijska jalovina nastaje u procesu flotacije mineralne sirovine. Rudarski otpad predstavlja trošak koji nastaje u integrisanom rudarskom procesu otkopavanje-prerada rude, kako u investicionom periodu, tako i u toku same proizvodnje.

Kako se radi o velikim količinama materijala koje treba odložiti na prostoru rudnika, to veoma često predstavlja pravi izazov za rudarske kompanije, s obzirom da se eksploatacija rudnika odvija u uslovima više ograničavajućih faktora.

Integrisanim odlaganjem rudarskog otpada rešava se problematika upravljanja rudarskim otpadom kod dugoročnog planiranja površinskih kopova u uslovima prostornog ograničenja i zahteva za minimiziranjem uticaja rudarskih radova na životnu sredinu i civilne infrastrukturne objekte, a posebno na bezbednost i zdravlje stanovništva.

U svetu postoji više primera tehničkih rešenja vezanih za integrisano odlaganje rudarskog otpada. U rudniku zlata Ada Tepe u Kumovgradu (Bugarska), slika 1, uspešno je primenjeno rešenje integrisanog odlaganja jalovine koja nastaje u procesu otkopavanja na površinskom kopu i flotacijske jalovine koja nastaje u procesu prerade rude [1]. Drugi, sličan koncept skladištenja flotacijske jalovine u ogromnim kasetama koje su napravljene od rudničke jalovine primenjen je kao pionir projekat eksploatacije bakra i zlata u Papui Novoj Gvineji, slika 2, gde neravni tropski tereni, teški klimatski i geološki uslovi čine izgradnju konvencionalnog skladišta rudničkog otpada jednim od najvećih izazova u zemlji [2].

Mogućnost primene integrisanog odlaganja rudarskog otpada prikazan je na primeru odlaganja kopovske i flotacijske jalovine u rudnom polju Brskovo, u opštini Mojkovac, Republika Crna Gora.



Sl. 1. Izgled integriranog odlagališta u rudniku Ada Tepe u Bugarskoj
(preuzeto sa Google Eartha, 20.09.2024.)



Sl. 2. Veštačko odlagalište-jezero u Papui Novoj Gvineji
(preuzeto sa youtube-a, 20.09.2024.)

Eksploatacija rude olova i cinka na lokalitetu Brskovo odvija se na površinskim kopovima Žuta Prla i Brskovo, koji su deo integriranog rudarskog sistema otkopavanje - priprema rude. Tokom otkopavanja i eksploatacije rude

sa površinskih kopova Žuta Prla i Brskovo, kao i tokom predkoncentracije i flotacijske prerade rude u rudniku Brskovo generiše se sledeći rudarski otpad:

- kopovska jalovina,
- jalovina iz predkoncentracije,
- flotacijska jalovina.

2. INTEGRISANO ODLAGANJE RUDARSKOG OTPADA U RUDNOM POLJU BRSKOVO

Integrisano odlaganje rudarskog otpada zasniva se na izgradnji konvencionalnog odlagališta kopovske jalovine u okviru koga će se formirati izolovane kasete (ćelije) u kojima se odlaže zgusnuta flotacijska jalovina. Flotacijska jalovina sadrži približno 58% čvrstih materija, čime je olakšano rukovanje materijalima i prirodno odvodnjavanje i konsolidacija nakon taloženja. Kada dođe do zastoja u radu zgušnjivača, usled kvara ili radi održavanja, moguće je u kraćem periodu odlagati flotacijsku jalovinu i bez zgušnjavanja, te je zato je potrebno imati uvek pripremljene više kasete za prihvat materijala u akcidentnim situacijama.

Kasete u koje se odlaže flotacijska jalovina formiraju se na etažama kopovskog odlagališta i obezbeđene su sa dva sloja zaštite, jedan izgrađen od kopovske jalovine i drugi od jalovine iz predkoncentracije. Na taj način obezbeđuje se kompatibilnost filtera sa flotacijskom jalovinom i sprečava migraciju flotacijske jalovine u kopovsku jalovinu. Ovo je bitno iz razloga očuvanja geomehaničkih karakteristika kopovske jalovine.

Kombinacija geotekstila i jalovine iz predkoncentracije služi kao filter koji omogućava da višak vode migrira iz flotacijske jalovine, što će uticati na bolju konsolidaciju flotacijske jalovine i poboljšanje njenog geomehaničkog ponašanja [3].

Da bi se obezbedilo da na mehaničko ponašanje kopovske jalovine i jalovine iz predkoncentracije ne utiče ponašanje finih čestica flotacijske jalovine neophodno je da se obezbedi da flotacijska jalovina, jalovine iz predkoncentracije i kopovska jalovina budu odvojeni. Da bi se ovo postiglo, filter, a najekonomičniji i najpraktičniji je sa geotekstilom, moraće da se postavi na kasete pre nego što se flotacijska jalovina odloži. Ne postoje problemi kompatibilnosti filtera između kopovske jalovine i jalovine iz predkoncentracije, ali će geotekstil (ili alternativni filter) morati da se instalira između sloja jalovine iz predkoncentracije i flotacijske jalovine kako bi se

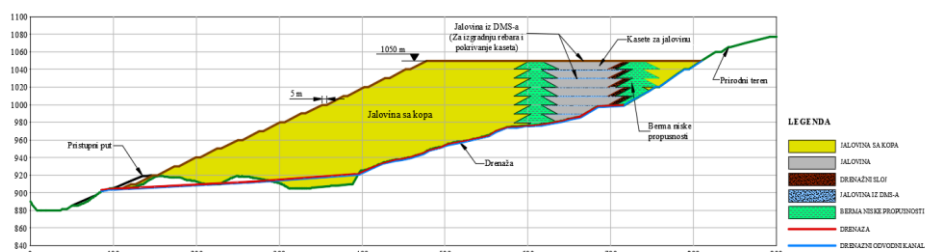
sprečila migracija finih čestica u šupljine jalovine iz predkoncentracije, a zatim dalje u kopovsku jalovinu, čime se umanjuju prednosti odvajanja materijala. Geotekstil će, međutim, omogućiti drenažu, poboljšavajući konsolidaciju i čvrstinu odložene flotacijske jalovine.

Integriranim odlaganjem rudarskog otpada postižu se nekoliko prednosti u odnosu na tradicionalni pristup odlaganju flotacijske jalovine. Na ovaj način se eliminiše izrada konvencionalnih flotacijskih jalovišta u kojima se flotacijska jalovina uglavnom odlaže u rudnicima širom sveta, jer flotacijska jalovišta konstantno predstavljaju opasnost po životnu okolinu, obzirom da su ispunjeni velikim količinama jalovine, mulja i vode, koje usled jačih potresa usled zemljotresa ili usled nekog drugog faktora mogu da dovedu do katastrofalnih posledica. Integriranim odlagalištem obezbeđuje se brza konsolidacija i odvodnjavanje flotacijske jalovine, koja se odlaže u prethodno pripremljene kasete obložene jalovinom iz predkoncentracije, a koja poseduje odlične drenažne karakteristike. Druga značajna prednost jeste ta što integrirana odlagališta zahtevaju niži početni kapital pošto je u početku potrebno manje materijala za izgradnju zaštitnih struktura, pošto se flotacijska jalovina i drugi rudarski otpad zajedno deponuju, tako da se iskopavanje prirodnog tla i/ili dovoz materijala sa okolnih lokacija može svesti na minimum.

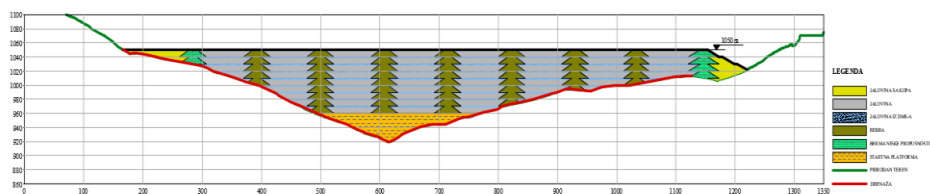
Kao nedostaci integrisanog odlaganja prepoznaje se složena izgradnja i kasnije upravljanje procesom odlaganja (dinamika odlaganja kopovske jalovine, jalovine iz predkoncentracije i flotacijske jalovine, jer mora da se obezbedi nesmetano odvijanje tehnoloških operacija otkopavanja i prerade rude) i potencijalno povećani operativni troškovi u poređenju sa konvencionalnim sistemom odlaganja jalovine.

U izgradnji integrisanog odlagališta biće korišćena tri osnovna materijala - flotacijska jalovina niske permeabilnosti, visoko permeabilna jalovina iz predkoncentracije i kopovska jalovina srednje permeabilnosti. Jalovina iz predkoncentracije koristiće se u dva slučaja. U jednom za obezbeđivanje drenažnog/filterskog sloja u kasetama za odlaganje flotacijske jalovine u kombinaciji sa geotekstilom i u drugom za mešanje bilo kakvog viška materijala sa kopovskom jalovinom da bi se poboljšale drenažne karakteristike kopovske jalovine. Stoga je predviđena izgradnja kasete za odlaganje flotacijske jalovine koje se nalaze na etažama kopovskog odlagališta. Čeonu stranu integrisanog odlagališta čini kopovska jalovina koja smanjuje permeabilnost čeonu strane, a jalovina iz predkoncentracije koja oblaže kasete obezbeđuje pasivnu drenažu.

Na slici 3 prikazan je uzdužni profil, a na slici 4 poprečni profil konačne konture integrisanog odlagališta jalovine Žuta Prla.

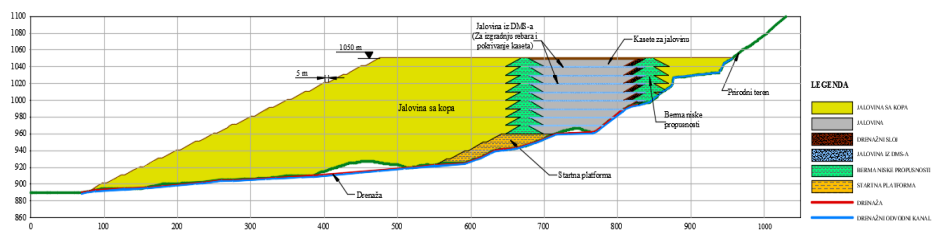


SI. 3. Šematski prikaz uzdužnog profila integrisanog odlagališta jalovine Žuta Prla

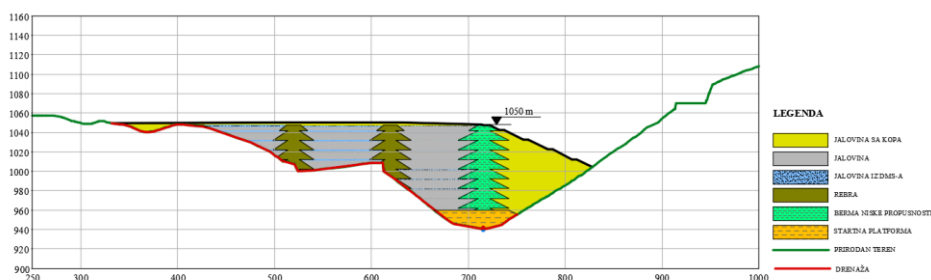


SI. 4. Šematski prikaz poprečnog profila integrisanog odlagališta jalovine Žuta Prla

Na slikama 5 i 6 prikazani su uzdužni i poprečni presek konačne konture integrisanog odlagališta jalovine Brskovo, respektivno.



SI. 5. Šematski prikaz uzdužnog profila konačne konture integrisanog odlagališta jalovine Brskovo



Sl. 6. Šematski prikaz poprečnog profila konačne konture integrisanog odlagališta jalovine Brskovo

3. ZAKLJUČAK

Nov tehnološki pristup odlaganju rudarskog otpada bazira se na principu integrisanog odlaganja koje podrazumeva da se vrši zajedničko odlaganje flotacijske jalovine koja se prethodno zgušnjava do oko 58% sadržaja čvrstog u cilju smanjenja sadržaja vlage, sa kopovskom jalovinom koja se otkopava na površinskim kopovima Žuta Prla i Brskovo. Na ovaj način se eliminiše izrada konvencionalnog flotacijskog jalovišta u kojem se flotacijska jalovina uglavnom odlaže u rudnicima širom sveta.

Značaj ovakvog pristupa rešavanju problema odlaganja rudarskog otpada ogleda se u postizanju bezbednog radnog i životnog okruženja u uslovima kako aktivnog rudnika, tako i u periodu nakon prestanka njegovog rada, jer flotacijska jalovišta konstantno predstavljaju opasnost po životnu okolinu, obzirom da su ispunjeni velikim količinama jalovine, mulja i vode, koje usled jačih potresa usled zemljotresa mogu da dovedu do katastrofalnih posledica.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2024. godini za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, br. 451-03-66/2024-03/200052.

LITERATURA

- [1] T. Eldridge, B. Wickland, A. Goldstone, M. Kissiova, Integrated mine waste storage concept, Krumovgrad Gold Project, Bulgaria, Tailings and Mine Waste Conference, Vancouver, B.C., 2011.

- [2] D. Saiang, M. Torovi, R.D.Y. Warigen, E. Wiruk, Integrated Storage Facility-A New Concept for Mine Waste Storage, (2020), pp. 477–489.
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-87805>
- [3] R. Rajković, D. Kržanović, M. Mikić, M. Jovanović, S. Milutinović, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 2 (2023) 9-16.