

# Mogućnosti smanjenja eksploatacijskih gubitaka pri podzemnoj eksploataciji boksita

---

**Kušek, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:393846>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij rudarstva

**MOGUĆNOSTI SMANJENJA EKSPLOATACIJSKIH GUBITAKA PRI PODZEMNOJ  
EKSPLOATACIJI BOKSITA**

Završni rad

Matija Kušek

R4192

Zagreb, 2021.

MOGUĆNOSTI SMANJENJA EKSPLOATACIJSKIH GUBITAKA PRI PODZEMNOJ EKSPLOATACIJI  
BOKSITA

Matija Kušek

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom završnom radu opisana je metoda podzemne eksploatacije boksita u krškim područjima s naglaskom na eksploatacijske gubitke koji nastaju prilikom miješanja jalovine s korisnom komponentom rude. Također je opisana geološka građa boksitnih ležišta na području Dinarida. Predložena je metoda eksploatacije boksita kojom bi se smanjili eksploatacijski gubici pomoću čeličnih mreža koje služe kao barijera za odvajanje krovine od rudnog tijela, te je obrađena ekonomska analiza odrađene metode.

Ključne riječi: eksploatacijski gubici, metode eksploatacije, podzemna eksploatacija boksita

Završni rad sadrži: 25 stranice, 2 tablica, 12 slika i 7 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Mario Dobrilović, redoviti profesor RGNF  
Dr. sc. Vinko Škrlec, izvanredni profesor RGNF

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>6</b>
<b>2. PODZEMNA EKSPLOATACIJA BOKSITA NA PODRUČJU DINARIDA .....</b>	<b>7</b>
2.1. Eksploatacija boksita kroz povijest.....	7
2.2. Geološka građa boksitonosnih područja zapadnih Dinarida.....	8
2.3. Položaj ležišta boksita .....	11
2.4. Metode podzemne eksploatacije boksita.....	12
<b>3. METODE EKSPLOATACIJE KOJE SU POGODNE ZA SMANJENJE EKSPLOATACIJSKIH GUBITAKA PRI EKSPLOATACIJI BOKSITA.....</b>	<b>15</b>
3.1. Podetažna metoda – varijanta zatvorenih komora.....	15
3.2. Švedska varijanta podetažnog zarušavanja .....	16
<b>4. ANALIZA METODE BARIJERA IZMEĐU KROVINE I RUDE U CILJU SMANJENJA EKSPLOATACIJSKIH GUBITAKA BOKSITA .....</b>	<b>18</b>
4.1. Tehnološki opis metode barijere s čeličnom mrežom.....	18
4.2. Tehno-ekonomska analiza isplativosti opisane metode .....	22
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>24</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>25</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Zemljopisni položaj i geološka karta boksitonošnih područja kod Jajca .....	10
Slika 2-2 Shematski prikaz strukturnoga položaja ležišta boksita.....	11
Slika 2-3 Kombinirano otvaranje potkop – okno.....	12
Slika 2-4 Otvaranje kosim oknom.....	13
Slika 2-5 Otvaranje vertikalnim oknom.....	13
Slika 2-6 Podetažna metoda sa zarušavanjem krovine.....	14
Slika 3-1 Varijanta zatvorenih komora.....	16
Slika 3-2 Švedska varijanta.....	17
Slika 4-1 Ležište L-34.....	19
Slika 4-2 Presjek A-A'.....	20
Slika 4-3 Presjek B-B'.....	20
Slika 4-4 Položaj čeličnih mreža.....	21

## POPIS TABLICA

Tablica 4-1 Izračun količine boksita.....	22
Tablica 4-2 Proračun dobiti/gubitka u modelu smanjenja eksploatacijskih gubitaka boksita postavljanjem zaštitnih (čeličnih) mreža.....	23

## 1. UVOD

Eksploatacijski gubici pri podzemnoj eksploataciji ovise prvenstveno o prirodnim uvjetima u ležištu, metodi otkopavanja, o organizaciji i načinu izvođenja radova, a nastaju zbog ostavljanja zaštitnih stupova i ploča (privremenog ili stalnog karaktera), propadanja i miješanja rude sa zasipom (kod metoda sa zasipavanjem otkopnog prostora), miješanja rude sa zarušenom krovinom (metode sa zarušavanjem), nejasnog kontakta rude i pratećih naslaga, slabih fizičko-mehaničkih svojstava bokova ležišta, poremećenosti (neregularnosti) rudnog tijela, pojave jalovih proslojaka u rudi, istresanja prilikom utovara, transporta i pretovara.

S obzirom da su eksploatacijski gubici jedan od važnih tehničko-ekonomskih pokazatelja podzemne eksploatacije koji opisuju uspješnost primjene određene metode otkopavanja itekako je nužno uzimati ih u obzir prilikom projektiranja, odnosno te iste gubitke pokušati svesti na minimum.

Dopušteni gubici ovise o vrijednosti rude. Za visokovrijedne rude iznose 3-5%, rude srednje vrijednosti 10-15%, a za rude s niskim sadržajem korisne mineralne supstance iznose 15-20%, a katkada i do 50%.

Tijekom podzemne eksploatacije boksita gubici se javljaju kao posljedica nemogućnosti razvijanja etaže zbog moćnosti ili izraženog paleoreljefa krovine i podine, prilikom miješanja rude s jalovinom, te u obliku priljepke uz krovinu i zaostale pragove uz podinu. Ti gubici iznose oko 20% no znaju se kretati i do 50%.

U ovom radu bit će opisana geološka građa ležišta boksita te metode podzemne eksploatacije boksita u krškim područjima s naglaskom na eksploataciju u Jajcu, odnosno na području Dinarida. Također će biti predložene metode kojima bi se mogli smanjiti gubici prilikom podzemne eksploatacije boksita.

## **2. PODZEMNA EKSPLOATACIJA BOKSITA NA PODRUČJU DINARIDA**

U ovome poglavlju opisati će se povijest podzemne eksploatacije boksita s naglaskom na području Dinarida. Također će biti opisani tipovi geološke građe ležišta boksita koja se mogu pronaći na tom području.

### **2.1. Eksploatacija boksita kroz povijest**

Boksit se, poput svih ruda, u početku dobivao površinskom eksploatacijom no postupnim iscrpljivanjem plićih ležišta jamska proizvodnja dobiva sve više na važnosti. Potreba za eksploatacijom boksita javlja se krajem 19. stoljeća, odnosno u vrijeme kada se počela razvijati industrija aluminijska pošto je boksit tada bio jedina polazna ruda za dobivanje aluminijska, kao što je i danas. Prvi rudnik otvoren je 1873. godine u Francuskoj, međutim aluminij se nije značajno koristio sve do prvog svjetskog rata, kad je došlo do nagle ekspanzije zrakoplovne industrije gdje je zahvaljujući svojim fizičko-mehaničkim svojstvima aluminij dobio svoju ulogu te je shodno tome došlo i do veće potrebe za eksploatacijom boksita.

U to je vrijeme počela i eksploatacija na području Dinarida. U Istri (na području Labina) i u Dalmaciji (na Dalmatinskim otocima te u okolici Drniša) krenula je površinska eksploatacija te je to ostala karakteristična metoda eksploatacije boksita u Dinaridima sve do perioda nakon drugog svjetskog rata. Tadašnji način je podrazumijevao iskop otkrivke nakon koje se vršila eksploatacija rude boksita do trenutka kad iz sigurnosnih ili ekonomskih razloga taj način više nije bio moguć. Prema istraživanjima iz 2004. godine posljednjih 50 godina svjetska proizvodnja boksita ima godišnji rast od 5%, dok se potrošnja boksita u istom periodu povećala za 4%.



## **2.2. Geološka građa boksitonosnih područja zapadnih Dinarida**

Boksitonosna područja koja su od važnosti za podzemnu eksploataciju boksita na području zapadnih Dinarida su: Senonski boksiti zapadne Bosne, boksiti starog Paleogena (većinom Paleocena) u Istri, Dalmaciji i zapadnoj Hercegovini, te boksiti mlađeg Paleogena u Dalmaciji i zapadnoj Hercegovini.

### **Boksiti starog Paleogena**

Pojavljaju se u malim količinama u blizini Stare Baške na otoku Krku, u središnjoj Dalmaciji u blizini Drniša, također, za vrijeme drugog svjetskog rata vršila se podzemna eksploatacija na području Širokog Brijega u zapadnoj Hercegovini. Podina tih boksita je građena od vapnenaca gornje krede dok krovinu čine dobro uslojeni, djelomično glinoviti vapnenci uz pojave ugljena. Ležišta paleogenskog boksita također variraju svojom veličinom. Na području Istre, Jadranskih otoka, Dalmacije i dijelova Hercegovine pojavljuju se manja rudna tijela džepnog oblika. Površina tih ležišta iznosi do 300 m<sup>2</sup>, a dubina do 30 m. Međutim na području Širokog Brijega nalaze se također i veća ležišta koja sadrže do stotinjak tisuća tona rude, a Orašnica kao najveće ležište je zatvoreno nakon što je otkopano otprilike milijun tona rude.

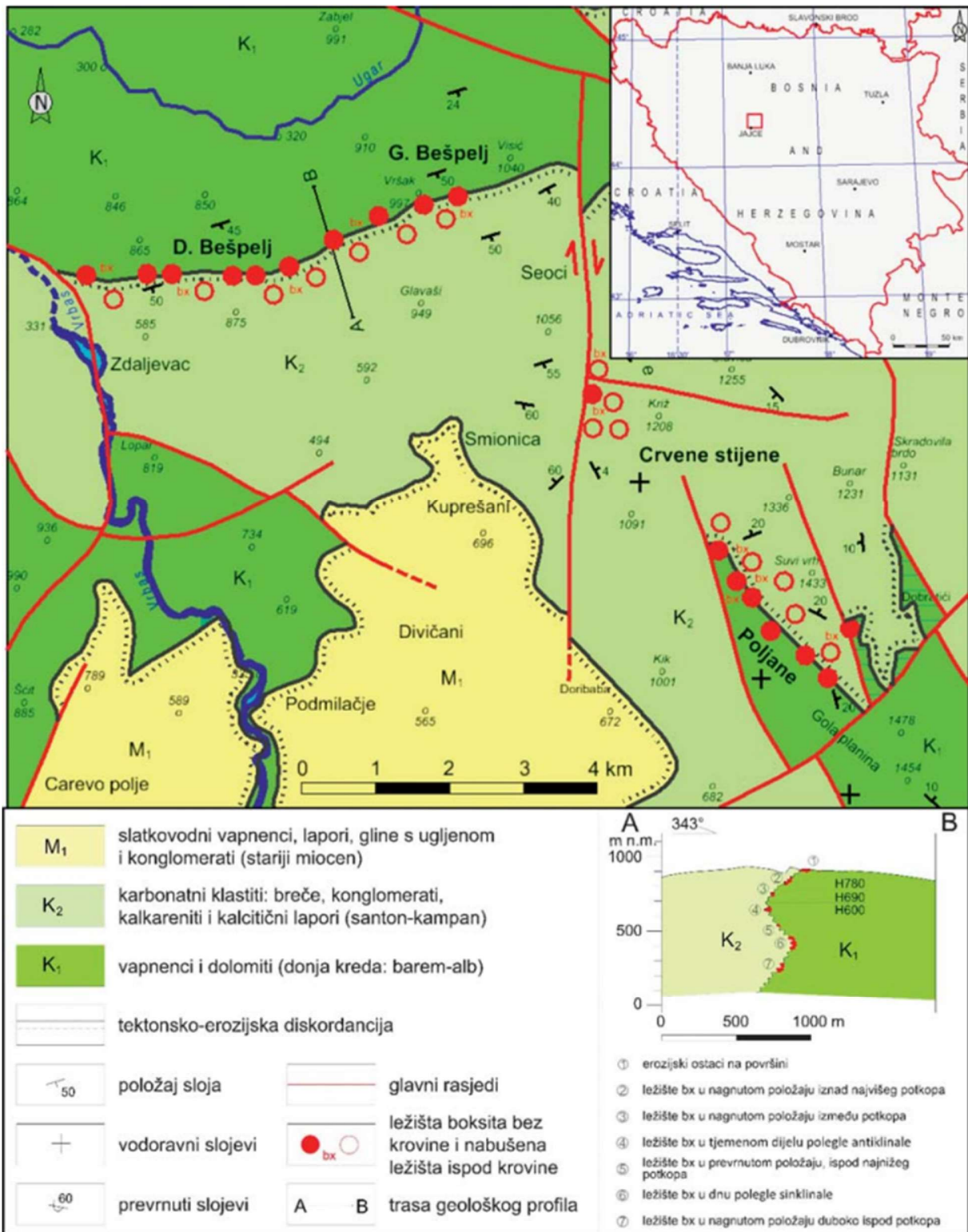
### **Boksiti mladog Paleogena**

Ovi boksiti su najznačajniji na području zapadnih Dinarida u rudarskom pogledu iz razloga što je njihov udio volumena iskopane rude najveći. Brojna ležišta te starosti se eksploatiraju podzemnim metodama. Pojavljuju se na otegnutoj i relativno ravnoj zoni koja seže od Maslenice, prema Drnišu, Sinju i Imotskom u Dalmaciji, zatim preko Posušja do Stolca u Hercegovini. Na tim područjima su otvoreni mnogi rudnici boksita koji su se eksploatirali dugo vremena. Podinu boksita mladog Paleogena čine većinom vapnenci iz doba Krede. Podina je veoma neravna te sadrži mnogobrojne duboke boksitne ispune u karbonatnim stijenama što stvara probleme prilikom eksploatacije, posebice uslijed uvođenja strojeva. Protivno strukturi podine, krovina je ravna, a sastoji se od litološki heterogenih slojeva između Eocena i Oligocena. Te slojeve čine vapnenci, konglomerati, pješčenjaci, lapori, gline te pojave smeđeg ugljena. Ležišta takvih

boksita se razlikuju svojom veličinom i oblikom, mogu se pojaviti kao manja lećasta ležišta, no češće su to veća rudna tijela boksita, nepravilnih oblika te površine od nekoliko stotina do tisuće kvadratnih metara. Prosječna debljina kreće se u rasponu od 3 do 40 m.

### **Senonski boksiti**

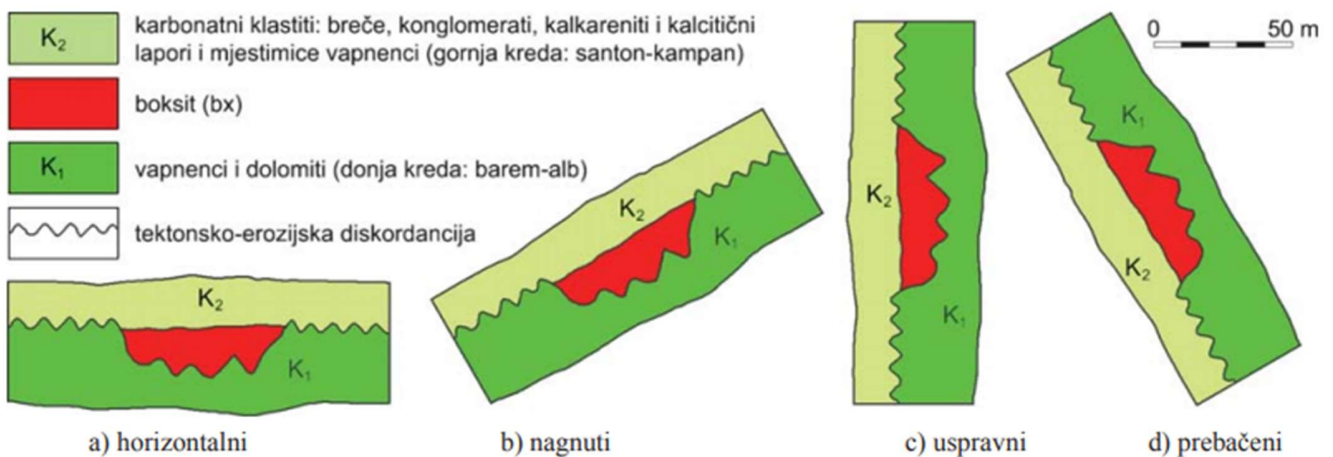
Pojavljaju se na području između Bihaća i Ključa, pretežno na dijelovima planine Grmeč te u okolici Jajca gdje se ruda najvećim dijelom pojavljuje na području planine Ranča. U podini senonskih boksita se nalaze alb-cenomanski vapnenci dok se u krovini nalaze senonske karbonatne taložine. Ono što je interesantno u pogledu podzemne eksploatacije na tim područjima je to što se pojavljuju paleoreljevi u krovinskim naslagama kod kojih se senonski karbonatni slojevi nalaze u inverznom položaju, što nije učestala pojava. Ležišta senonskih boksita se uvelike razlikuju veličinom i oblikom. Na području Grmeča nalaze se rudna tijela koja su samo od 1 do 1,5 metara debljine, međutim većinom su lećastog oblika različitih debljina kao u okolici Jajca i Bosanske Krupe. Na području Jajca se također pojavljuju i rudna tijela većih dimenzija. Kasnije u ovom radu biti će predložena metoda eksploatacije kojom bi se mogli smanjiti eksploatacijski gubici prilikom eksploatacije boksita ove skupine, točnije boksita na području Jajca.



Slika 2-1 Zemljopisni položaj i geološka karta boksitonosnih područja kod Jajca (Marinković & Ahac, 1975; dopunjeno i prilagođeno prema Dragičević, 1981, 1987, 1997)

### 2.3. Položaj ležišta boksita

Ležište boksita može se naći u četiri strukturna položaja. Ukoliko ležišta nisu bila znatnije zahvaćena tektonskim procesima njihov položaj će biti horizontalan (slika 2-2, a). Veoma čest položaj ležišta boksita je da su ona zajedno s podinskom i krovinskim slojevima nagnuta (slika 2-2, b) (Bárdossy, 2013). Daljnjim ustrmljavanjem kontaktne plohe između podine i krovine ležišta, ona dolaze u subvertikalni do vertikalni položaj (slika 2-2,c), a uslijed daljnjih tangencijalno-kompresijskih tektonskih djelovanja dolazi do prebačenoga, odnosno inverznoga položaja kontaktne plohe između podinskih i krovinskih slojeva, a samim time i takva položaja ležišta. (slika 2-2, d)

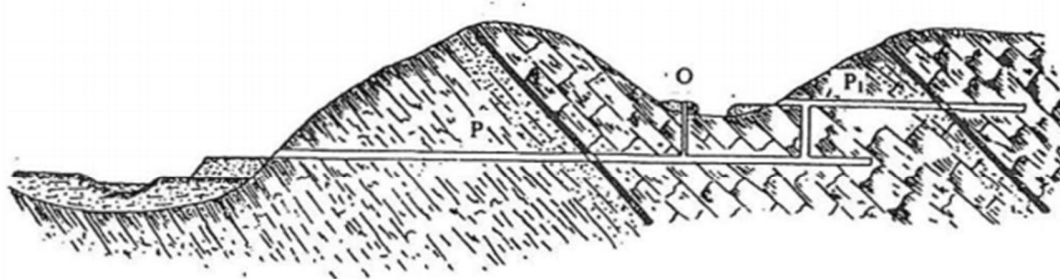


Slika 2-2 Shematski prikaz strukturnoga položaja ležišta boksita (Budeš, 2009)

## 2.4. Metode podzemne eksploatacije boksita

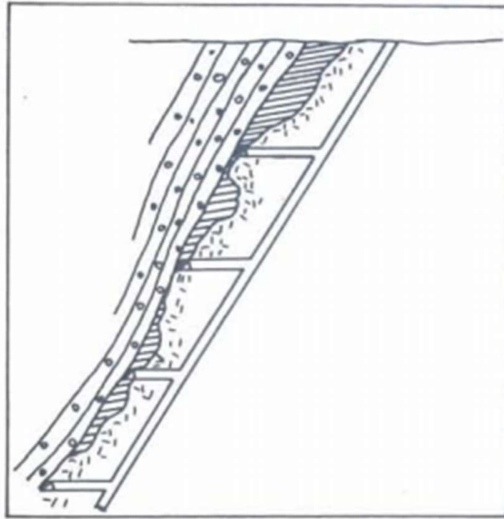
### Otvaranje ležišta

Ovisno o mnogim faktorima kao što su: konfiguracija terena, položaj i oblik ležišta, dubina eksploatacije, raspored korisne mineralne sirovine itd., otvaranje se izvodi potkopom, oknom, kosim oknom ili kombinirano. U većini slučajeva na prostoru Dinarida, ležištu boksita se pristupa potkopom s obzirom da je to optimalna metoda zbog područja na kojima se nalaze, a to su pretežito planinska područja. Kod ležišta koja su u vertikalnom ili subvertikalnom položaju pristupa se oknima, odnosno kosim oknima. Način otvaranja oknom prikazan je na slici 2-4 i slici 2-5.

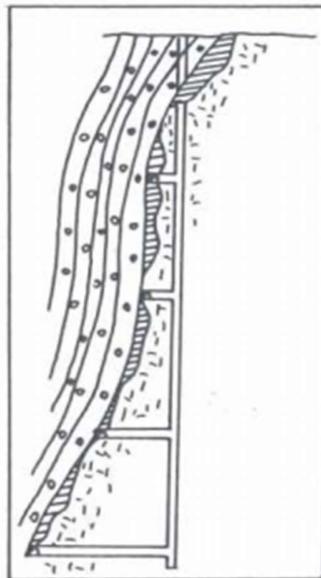


*P, P<sub>1</sub> - potkop    O - okno*

Slika 2-3 Kombinirano otvaranje potkop – okno (Živković i dr., 1999)



**Slika 2-4** Otvaranje kosim oknom (Vužec i dr., 1994)

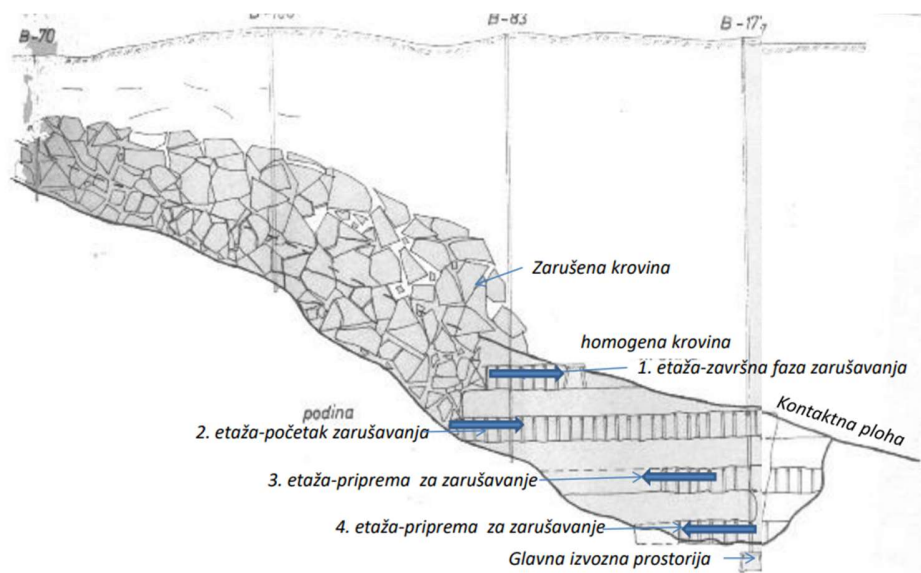


**Slika 2-5** Otvaranje vertikalnim oknom (Vužec i dr., 1994)

## Otkopavanje

Prilikom podzemne eksploatacije boksita koriste se dvije temeljne metode otkopavanja ovisno o fizičko-mehaničkim svojstvima rude i okolnih stijena te veličini i obliku boksitnih ležišta, a to su podetažna metoda otkopavanja sa zarušavanjem rude te podetažna metoda otvorenih otkopa. Iako podetažnu metodu otvorenih otkopa karakteriziraju veoma mali eksploatacijski gubici koji se kreću od 2 do 5%, ona se može aplicirati samo u uvjetima gdje krovinu čine čvrste stijene te za ograničene veličine rudnog tijela. U slučajevima gdje se nailazi na veća rudna tijela ti otvoreni prostori su značajno veći čime se automatski povećavaju naprezanja u krovini što uzrokuje sigurnosne probleme prilikom daljnje eksploatacije.

Obzirom da se krovina boksitnih ležišta u Dinaridima sastoji od mekših stijena odnosno vapnenaca većinom se opredjeljuje za podetažnu metodu sa zarušavanjem rude. Tu metodu s druge strane karakteriziraju veliki eksploatacijski gubici koji se kreću od 20% pa čak do 50% upravo iz razloga što se krovina zarušava čim se iskopa ruda te dolazi do miješanja rude s jalovinom. Međutim, ta metoda također ima i svoje prednosti. Temeljna prednost jest manji broj potrebnih radnika. Zatim, za relativno visoku produktivnost, troškovi eksploatacije su mali. Metode podetažnog zarušavanja razvile su se iz metoda krovnog zarušavanja u svrhu povećanja produktivnosti i smanjenja troškova otkopavanja. Na slici 2-6 je prikazana shema otkopavanja podetažnim zarušavanjem.



Slika 2-6 Podetažna metoda sa zarušavanjem krovine (Galić, 2020)

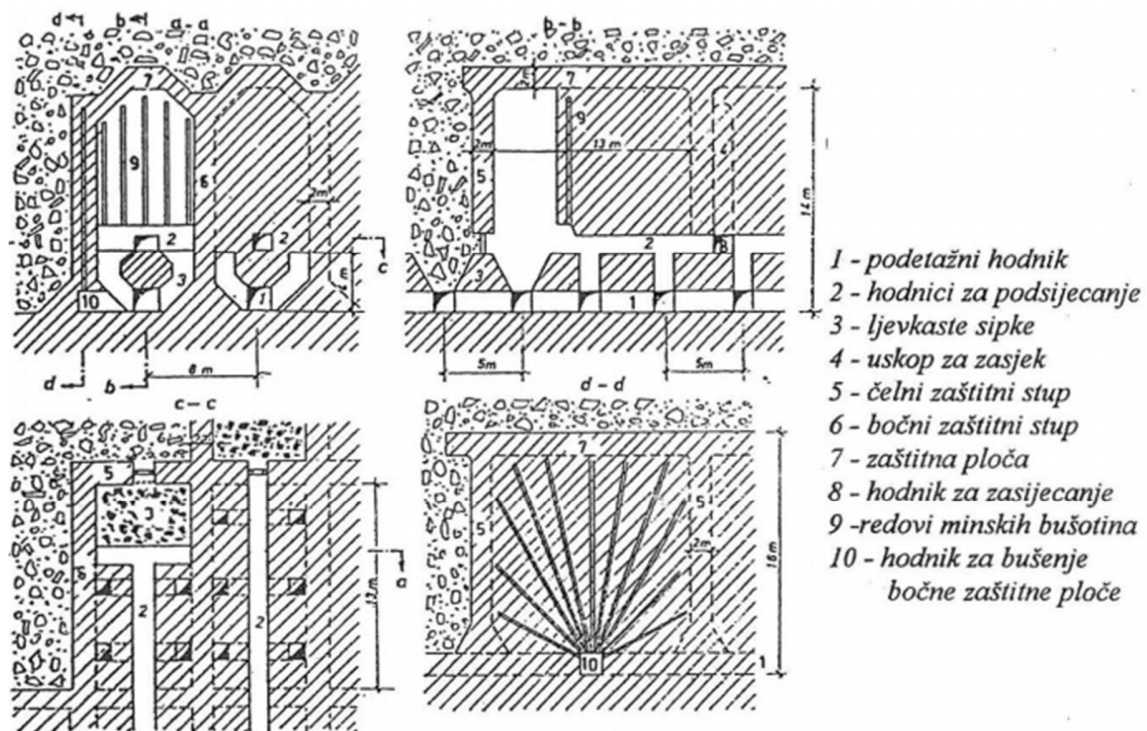
### **3. METODE EKSPLOATACIJE KOJE SU POGODNE ZA SMANJENJE EKSPLOATACIJSKIH GUBITAKA PRI EKSPLOATACIJI BOKSITA**

Pri korištenju podetažne metode otkopavanja sa zarušavanjem rude dolazi do velikih eksploatacijskih gubitaka koji znaju iznositi i do 50%, najvećim dijelom zbog problema pri miješanju jalovine s rudom. Naime, radi štetnog djelovanja kalcija u preradi boksita, maksimalno dozvoljeno onečišćenje boksita kalcijevim oksidom je 1,5%. S obzirom da se boksit nakon otkopavanja ne podvrgava naknadnoj separaciji, utovar se obustavlja pri najmanjem miješanju s jalovinom. Stoga se smanjenje eksploatacijskih gubitaka ispunjava prvenstveno kroz poboljšanje metode otkopavanja. U ovom poglavlju opisati će se neke od varijantnih metoda kojima bi se smanjili eksploatacijski gubici s napomenom kako se te metode obično koriste za velika rudna ležišta.

#### **3.1. Podetažna metoda – varijanta zatvorenih komora**

Iz smjernog hodnika u podinskom boku, izrađuju se podetažni hodnici do krovinskog boka. Na 4,0 m iznad podetažnih hodnika prate ih hodnici podsijecanja, a na svakih 5,0 m povezani su ljevkastim sipkama. Dužina pojedinih komora je 8,0-15,0 m. Čelno i bočno između komora ostavljaju se privremeni zaštitni stupovi širine 1,5-2,0 metra. Prema krovini ostavlja se privremena zaštitna ploča debljine oko 2,0 m. Uz čelni zaštitni stup komore izrađuje se hodnik za zasjek i uskop za zasijecanje, koji se proširuju po cijeloj visini i širini komore omogućujući daljnje bušenje i miniranje rude paralelnim redovima minskih bušotina. Oborena ruda pada prolazeći kroz ljevkaste sipke na nivo podetažnog hodnika odakle se prevozi do rudne sipke. Nakon otkopavanja komore otkopavaju se čelni i bočni zaštitni stupovi dugačkim minskim bušotinama. Bušenje bočnog zaštitnog stupa izvodi se iz hodnika koji se izrađuje iz podetažnog hodnika. No uslijed zarušavanja zaštitnih stupova zarušava se i jalovina iz krova komore, pa tijekom izvlačenja rude dolazi do njezinog znatnijeg onečišćenja. Gubici i osiromašenje rude prilikom eksploatacije metodom zatvorenih komora iznose 15-25%.



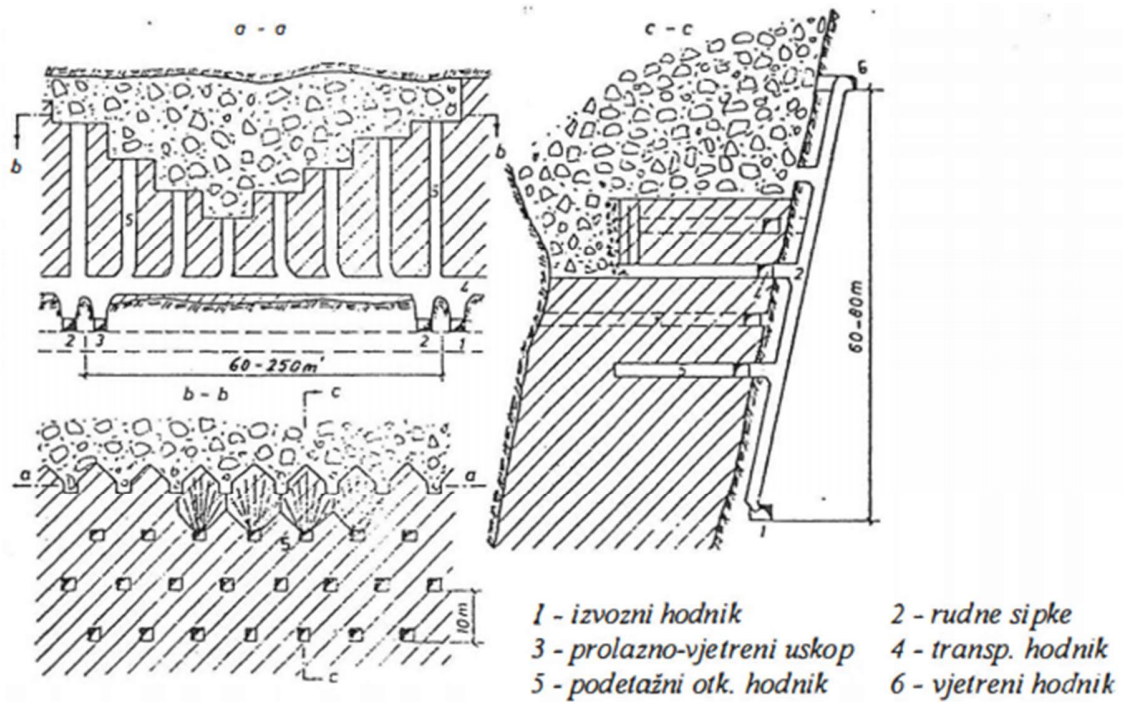


Slika 3-1 Varijanta zatvorenih komora (Živković i dr., 1999)

### 3.2. Švedska varijanta podetažnog zarušavanja

Metoda je razvijena u švedskim rudnicima magnetita. Može se primjeniti za sve tipove ležišta debljine preko 3,0 m. Kut zalijeganja poželjno je kod tanjih ležišta da je veći, dok kod debljih može biti blaži. Izrada minskih bušotina u lepezama izvodi se neposredno iz podetažnih hodnika raspoređenih u šahovskom rasporedu. Visina podetaže je 8-15 m. Utovar rude je jamskim utovarno-transportnim strojevima. Izvozni i vjetreni smjerni hodnici smješteni su u podinskom boku na visinskoj razlici horizonta 60-80 m. Rudne sipke i prolazno-vjetreni uskop rade se na razmaku od 60-250 m po pružanju rudnog tijela. Rudne sipke i uskopi povezani su na nivou svake podetaže sa smjernim transportnim hodnikom, iz kojeg se na svakih 6-10 m izrađuju podetažni otkopni hodnici do krovinskog boka odakle započinje otkopavanje. Prethodno se u krovinskom boku izrađuje proširenje u obliku zaloma, tako da jalova stijena po prirodnom nasipnom kutu ispuni podetažni otkopni hodnik. Razmak lepeza je od 0,7 do 2,5 m, što ovisi o

visini etaže. Kada se u oborenoj rudi pojavi jalovina prekida se utovar. Iskoristivost ove metode iznosi od 70-95%.



Slika 3-2 Švedska varijanta (Živković i dr., 1999.)

#### **4. ANALIZA METODE BARIJERA IZMEĐU KROVINE I RUDE U CILJU SMANJENJA EKSPLOATACIJSKIH GUBITAKA BOKSITA**

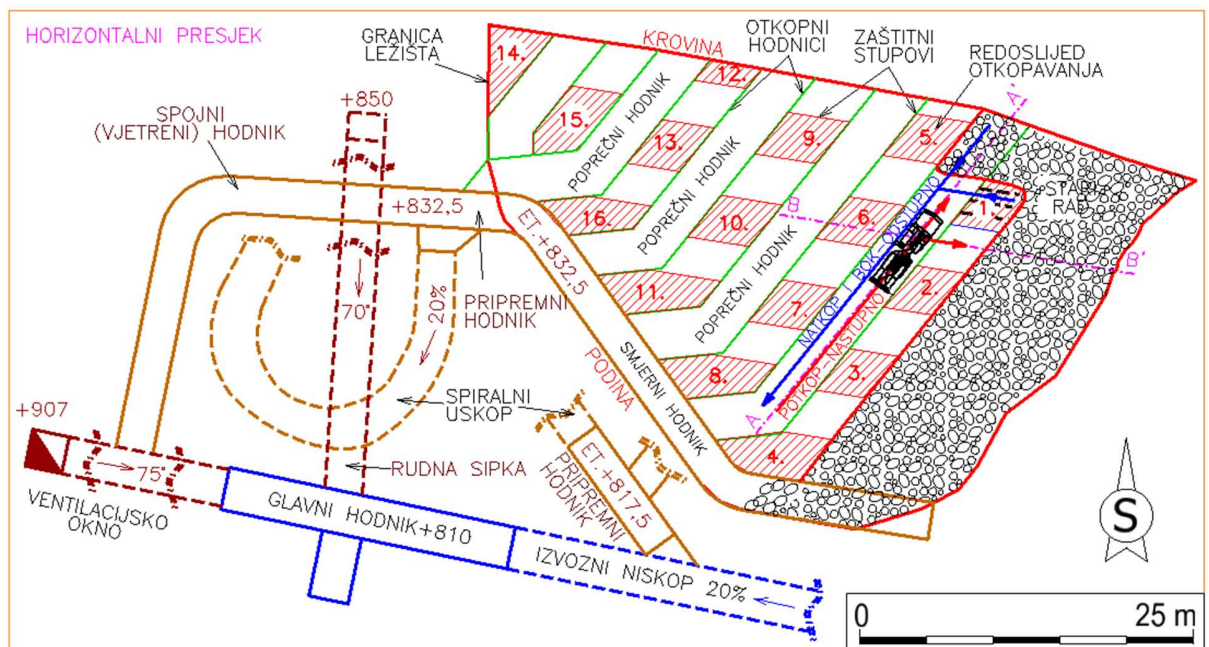
Sprječavanje miješanja jalovine s rudom je primarni problem kod podetažne metode zarušavanja tijekom eksploatacije boksita. Do tog miješanja dolazi zbog male čvrstoće krovinski naslaga vapnenaca. Uslijed zarušavanja rude također se zarušava i krovina. Ukoliko bi se krovina razdvojila od rude na neki način, ti gubici bi se značajno smanjili.

##### **4.1. Tehnološki opis metode barijere s čeličnom mrežom**

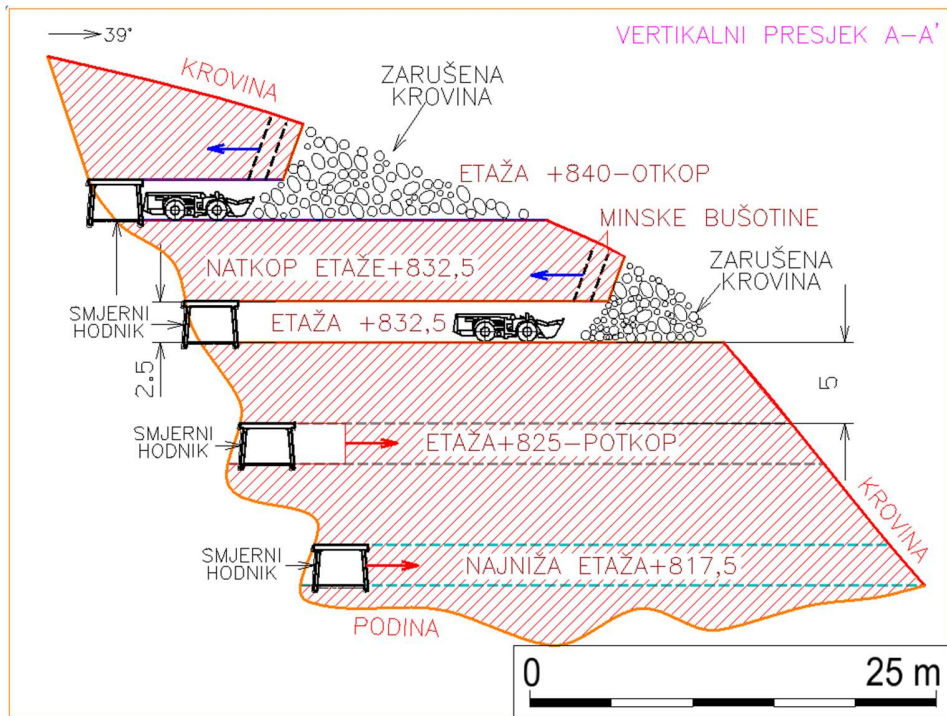
Jedan od mogućih načina ograđivanja rudnog tijela boksita od krovinskih naslaga je postavljanje barijera u obliku čeličnih mreža. Sam smisao ove implementacije je u tome da se smanje gubici, odnosno da se poveća ukupan profit. Ovo je samo jedan od načina kojim bi se separirala jalovina pomoću barijera, razmatrane su i varijacije s drvenim barijerama, raznim pločama i slično. U nastavku ovog poglavlja biti će opisan postupak postavljanja mreža te tehno-ekonomska analiza isplativosti samog postupka na primjeru jednog ležišta.

## Ležište L-34, Bešpelj

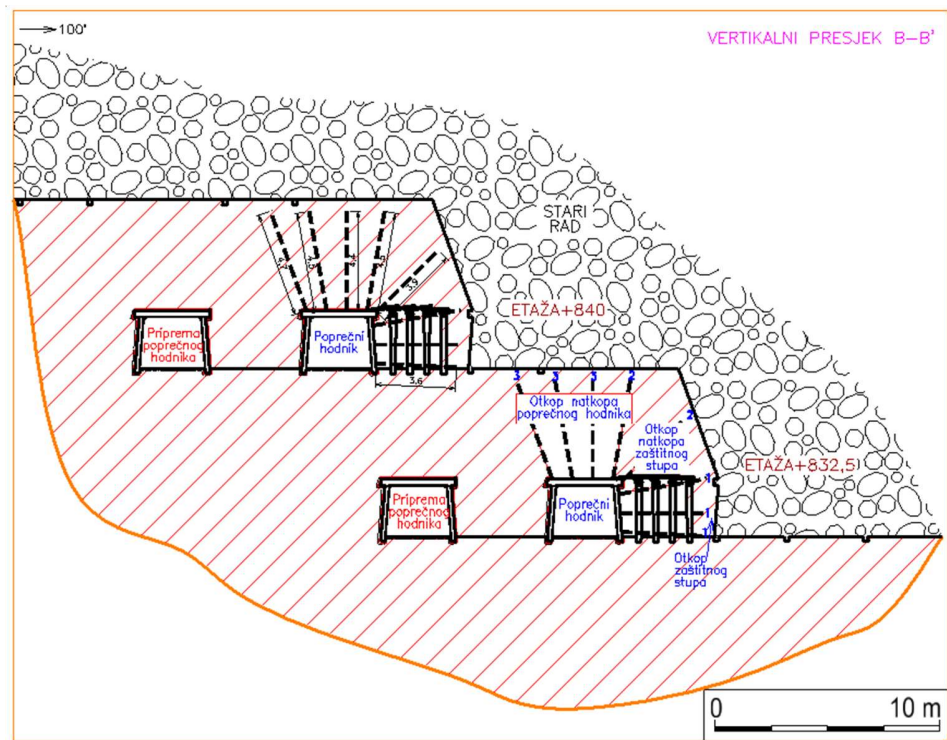
Procijenjeni učinak odvajanja jalovine pomoću čeličnih mreža biti će prikazan na primjeru podzemne eksploatacije boksita s područja Bešpelja, točnije ležišta L-34. Na tom ležištu koristi se metoda otkopavanja sa zarušavanjem krovine gdje je otkopavanje pojedinih etaža odstupno, te počinje od kraja etažnog poprečnog hodnika i napreduje prema hodniku od kojeg je započela izrada etaže. Iz poprečnog hodnika izrađuju se otkopni hodnici na udaljenosti od 7,5 m. Kada otkopni hodnik dođe do podine formira se otkop na taj način što se povlači od podine prema poprečnom hodniku. U nekim dijelovima ležišta se krovina neposredno zarušava pri otkopavanju, te tako ostaju prazni prostori i po nekoliko desetaka metara po pružanju i padu. Kod rudnih tijela koja se nalaze bliže površini zarušavanje dosta pravilno prati otkopavanje. Pri otkopavanju dubljih rudnih tijela, krovina se najčešće zarušava u visini do 10 metara. Kod otkopavanja u uvjetima otvorenih prostora obavezno se pri utovaru adminirane rude koristi daljinsko upravljanje iz sigurnosnih razloga jer otvoreni prostor može biti ugrožen od odvaljivanja pojedinih komada jalovine iz krovine.



Slika 4-1 Horizontalni presjek ležišta L-34, etaža 832,5



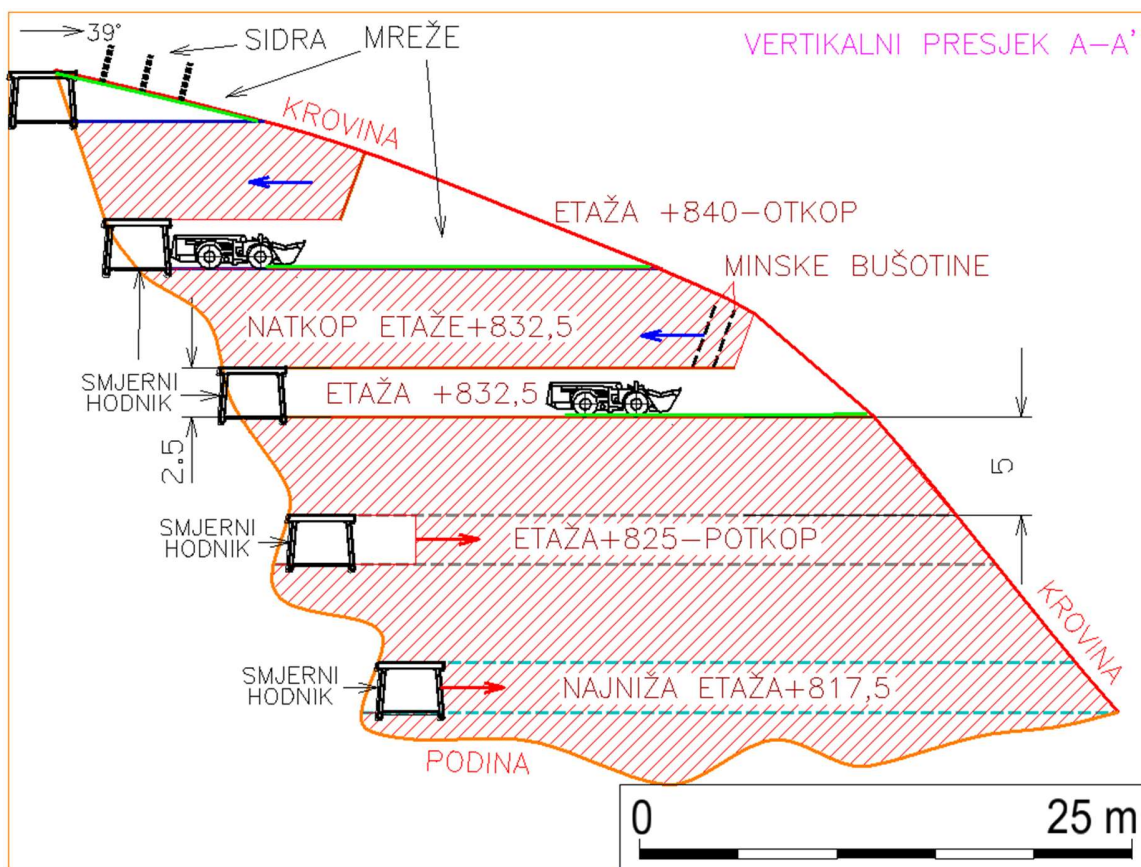
Slika 4-2 Presjek A-A'



Slika 4-3 Presjek B-B'

## Implementacija

Zamisao je da se čelične mreže postavie na način kojim bi se maksimalno spriječilo miješanje jalovine s korisnom rudom. Na vertikalnom presjeku A-A sa slike 4.2 zorno je prikazana kontaktna ploha krovinskih naslaga i rudnog tijela. Ukoliko bi se mreže postavile na najvišoj etaži ležišta uz sam kontakt rudnih naslaga s krovinskim te se pritom usidrile spriječilo bi se daljnje zarušavanje neželjenog materijala po nižim etažama. Jedna od zamisli je da se taj postupak izvršava na svim sljedećim etažama no upitno je kolika bi isplativost takvog pristupa bila uzimajući u obzir cijenu čeličnih mreža i sidara te vremenskog utroška, također, moguće potrebe za većim brojem djelatnika što jednako tako predstavlja trošak. Sljedeći korak bi bio prostiranje mreže po podu duž nižih etaža nakon faze pokopavanja odnosno prilikom odstupanja. Time bi se djelomično spriječilo miješanje korisne rude s jalovinom na način da se spriječi miješanje jalovine s više etaže s korisnom rudom prilikom zarušavanja na nižim etažama.



Slika 4-4 Položaj čeličnih mreža

## 4.2. Tehno-ekonomska analiza isplativosti opisane metode

Za analizu će biti uzeta etaža 832,5 kao etaža srednje veličine. Boksit će se dobivati tijekom razrade potkopnog dijela smjernih, poprečnih i otkopnih hodnika, zatim iz zaštitnih stupova te iz natkopa hodnika i stupova koji se dobivaju u odstupanju. Količina boksita izračunana je na temelju podataka iz glavnog rudarskog projekta Bešpelj (Galić i dr., 2006) u tablici 1. Pri izračunu se uzimaju i eksploatacijski gubici koji iznose oko 20%.

**Tablica 4-1** Izračun količine boksita

	BOKSIT					
	POTKOP	STUPOVI	NATKOP	UKUPNO (Bez gubitaka)	GUBICI	UKUPNO
Etaža	Masa (t)	Masa (t)	Masa (t)	Masa (t)	%	Masa (t)
832,5	7684	3946	26065	37695	20	30156

Podatak za površinu etaže 832,5 dobiven je u programu Microstation, te ona iznosi 1230 m<sup>2</sup>. Pri postavljanju čelične mreže zanemarujemo površinu koju čine zaštitni stupovi i međuprostor (koji čine 50% sveukupne površine) tako da površina koja će biti pokrivena čeličnom mrežom iznosi 615 m<sup>2</sup>. Pri odabiru promjera okna čelične mreže u obzir se uzima pretpostavka da su komadi jalovine iz krovinskih naslaga krupniji, odnosno da su veći od 30 cm<sup>3</sup>. Za primjer će biti uzeta armaturna mreža dimenzija: 6 x 2,15 m (širina x duljina). Dimenzija kvadratnih okna: 15 x 15 cm. Okvirna cijena komada takve mreže iznosi 106 €/kom. Budući da je potrebno prekriti površinu od 615 m<sup>2</sup> potrebno je 48 komada armaturne mreže dimenzija 6 x 2,15 m. Shodno tome, troškovi mreže bi iznosili 5088 €. Vrijeme rada na povezivanju mreže može se uračunati u redovni proces eksploatacije boksita, s pretpostavkom cijene rada oko 20 €/kom. Shodno tome, troškovi postavljanja mreže će iznositi 960 €, odnosno ukupni troškovi materijala i rada će biti 6048 €.

Za proračun dobiti od eksploatacije boksita potrebno je poznavati: količinu rude, cijenu eksploatacije i tržišnu cijenu boksita.

U odabranom primjeru (etaža 832,5 u ležištu L-34) cijena eksploatacije iznosi oko 20 €/t. Tržišna cijena boksita oscilira, u ovisnosti o svjetskom tržištu, no usvaja se okvirna cijena u proteklom obračunskom razdoblju u iznosu od 30 €/t.

Prema ulaznim podacima, količini rude i usvojenim cijenama, može se proračunati udio troškova eksploatacije, sa zaštitnom mrežom, te utjecaj na očekivanu dobit od povećanja iskorištenja boksita odnosno smanjenja eksploatacijskih gubitaka. Pri tome se uzima u obzir samo iznos maksimalno očekivanog smanjenja gubitaka rude boksita od 10% zbog smanjene površine koju će pokriti čelična mreža.

**Tablica 4-2** Proračun dobiti/gubitka u modelu smanjenja eksploatacijskih gubitaka boksita postavljanjem zaštitnih (čeličnih) mreža

Udio iskorištenja	Količina boksita	Trošak eksploatacije	Prihod	Dobit
%	t	€	€	€
1,00	302	12 079	9 047	-3 032
2,00	603	18 110	18 094	- 17
3,00	905	24 142	27 140	2 999
4,00	1 206	30 173	36 187	6 014
5,00	1 508	36 204	45 234	9 030
6,00	1 809	42 235	54 281	12 046
7,00	2 111	48 266	63 328	15 061
8,00	2 412	54 298	72 374	18 077
9,00	2 714	60 329	81 421	21 092
10,00	3 016	66 360	90 468	24 108

Prema rezultatima iz tablice 4-2, vidljivo je da bi troškove postavljanja zaštitne mreže mogli pokriti s povećanjem iskorištenja ležišta, odnosno sa smanjenjem eksploatacijskih gubitaka za 3% jer bi se pri tome postigao pozitivan ekonomski rezultat. S maksimalnom mogućim povećanjem iskorištenja od 10%, tj. ukupno 90%, postigao bi se povoljniji ekonomski rezultat za oko 8%. Prikazani rezultati opravdavaju razmišljanja i nastojanja da se provedu terenska istraživanja na nekom ležištu boksita i izvede probna eksploatacija sa opisanom metodom zaštitnih mreža.



## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predložena je metoda za smanjenje eksploatacijskih gubitaka kod koje bi se dio jalovine odvajao od korisnog rudnog tijela pomoću jedne vrste barijere. Također je moguće upotrijebiti druge vrste barijera poput drvenih barijera, nekakvih tipova ploča i slično. Jednako tako, upotreba metoda koje se već koriste za eksploataciju ostalih vrsta ruda mogu se uzeti u obzir no uz dobra prethodna istraživanja. Međutim, problem kod implementacija novih, a pogotovo metoda koje još nisu korištene u sličnim uvjetima, je rizik od mogućih financijskih gubitaka na koji je rijetko koji investitor spreman. Eksploatacijski gubici pri podzemnoj eksploataciji boksita su poprilično veliki, međutim to je podatak na koji treba gledati s pozitivne strane, u smislu da postoji mnogo prostora za napredak. Smanjenje gubitaka za samo 10 % može rezultirati poprilično velikom zaradom, odnosno povećanjem dobiti za oko 8%. Dobiveni teorijski podaci su dobar poticaj za nastavak istraživanja i testiranje predložene metode u realnim uvjetima.

## 6. LITERATURA

BUDEŠ, I., DRAGIČEVIĆ, I. GALIĆ, I. 2018. Research of bauxite deposits from underground mining works. *Rudarsko-geološko-Naftni Zbornik*, 33(3), 95–110.

MEYER, F. M. 2004. *Natural Resources Research*, Vol. 13, No. 3.

DRAGIČEVIĆ, I., GALIĆ, I., HAJSEK, JANKOVIĆ, B., JÓSZEF, H., KOVACSICS, A., PODANYI, T., RADOVAC, T., ŽIVKOVIĆ, S.A. 2006. Glavni rudarski projekt eksploatacije ležišta boksita u eksploatacijskom polju “ Bešpelj”. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

MAJSTOROVIĆ, S., TOŠIĆ, D. 2016. Analysis of ore losses and dilution factors in bauxite underground exploitation, University of Banja Luka, Mining faculty Prijedor

PERIĆ, B., VUJEC, S, ZVEŽINA, R. 1990. The improvement of the excavation methods in bauxite deposits, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 2 No. 1

MARUŠIĆ, SAKAČ, VUJEC 1994. Underground bauxite exploitation in the western dinarids essential facts and comments, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 6 No. 1

NUIĆ, J., VRKLJAN, D., ŽIVKOVIĆ, S. 1999. Podzemna eksploatacija mineralnih sirovina. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.



KLASA: 602-04/21-01/192  
URBROJ: 251-70-11-21-2  
U Zagrebu, 13.09.2021.

**Matija Kušek , student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/192, URBROJ: 251-70-11-21-1 od 10.05.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### MOGUĆNOSTI SMANJENJA EKSPLOATACIJSKIH GUBITAKA PRI PODZEMNOJ EKSPLOATACIJI BOKSITA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv.prof.dr.sc. Ivo Galić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ivo Galić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)