

UTJECAJ OTKRIVKE NA EKONOMIČNOST EKSPLOATACIJE POVRŠINSKIM KOPOM

Kiril GRABOWSKY i Vladimir RENDULIĆ

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 41000 Zagreb, Hrvatska

Ključne riječi: Površinski kop, Otkrivka, Kut završne kosine, Premještanje, Ekonomičnost, Troškovi.

Iskustvo je pokazalo da se napori pri projektiranju površinskih kopova u nastojanju da se nađu ekonomičnija rješenja višestruko isplaćuju tijekom eksploatacije tako projektiranih i otvorenih kopova. U nizu pitanja koja treba riješiti tijekom projektiranja od posebnog su značenja tri: završni kut kosine, putevi transporta jalovine i oprema koja se koristi.

Key-words: Open pit, Overburden, Ultimate slope angle, Removal, Economics, Costs.

From experience we have learnt that all efforts made in seeking thorough economical solutions in planning open pits are rewarding in the course of exploitation of the so planned open pits. From numerous issues to be solved in the course of planning the three are the most important, i.e. ultimate slope angle, waste transportation routes, and selection of equipment.

Uvod

Nedvojbeno je da je glavni cilj svake proizvodnje da se postigne dobitak, a svaki proizvođač teži da taj dobitak bude što veći. Veoma pojednostavljeno rečeno, uz isti obim proizvodnje i plasmana dobitak ovisi o visini prihoda i rashoda, jer je dobitak razlika između prihoda i rashoda. Visina prihoda u mnogome ovisi o činiocima koji su izvan utjecaja proizvođača (potražnja na tržištu, kretanje prodajnih cijena itd.) i na njih proizvođač može relativno malo utjecati. S druge strane, rashodi su takoreći »interna stvar« proizvođača, pa ako apstrahiramo djelovanje inflacije, to je područje kojim bi svaki proizvođač morao u potpunosti vladati. Stoga je razumljivo da će svaki proizvođač posvetiti punu pažnju praćenju i analizi svojih proizvodnih troškova i nastojati smanjiti ih koliko je god to moguće. Naravno da će se ta nastojanja usmjeriti u prvom redu na one troškove koji su u procesu proizvodnje najveći.

Kada se radi o rudarskim pogonima s površinskom eksploatacijom, istraživanja treba usmjeriti na iznalaženje što ekonomičnijih postupaka dobivanja rude i premještanja jalovih masa. U tom cilju potrebno je najprije odabrati one faze procesa proizvodnje koje najviše utječu na ukupnu cijenu koštanja rude, a to su troškovi u vezi s otkrivanjem. Ovo je veoma značajna skupina troškova, a u našim prilikama, kada je sve češće da je odnos jalovine prema rudi sve nepovoljniji, tj. kada po jednoj toni dobivene rude treba premjestiti sve više jalovih masa, ovi su troškovi postali najznačajniji u procesu proizvodnje mineralnih sirovina. Troškovi otkrivke skoro uvijek učestvuju s preko 50% u ukupnim troškovima proizvodnje, a taj postotak često doseže i 80%, pa i više.

U našim uvjetima, prema tome, treba kod dobivanja rude površinskim načinom najveću pažnju posvetiti troškovima otkrivke. S tim u vezi odmah se postavlja pitanje: što to najviše utječe na troškove otkrivke?

Naravno da je od najvećeg značaja odnos rude i jalovine, odnosno koeficijent otkrivke, na koji se može djelomično utjecati projektnim rješenjima, ali je to ipak uglavnom određeno prirodnim uvjetima ležišta koje će se otkopavati. Projektno rješenje može utjecati na veličinu koeficijenta otkrivke različito, ali je jedan od najznačajnijih načina odabir najpovoljnijih geometrijskih veličina površinskog kopa odnosno završnog kuta nagiba kosine, pa je to prvi činilac kojeg treba razmatrati i tražiti najpovoljnije moguće rješenje.

Drugi veoma značajni činilac u transportnom sistemu odlaganja jalovine, postavljanje je najpovoljnijih puteva transporta od površinskog kopa do odlagališta, odnosno lokacija odlagališta i njegova udaljenost od površinskog kopa.

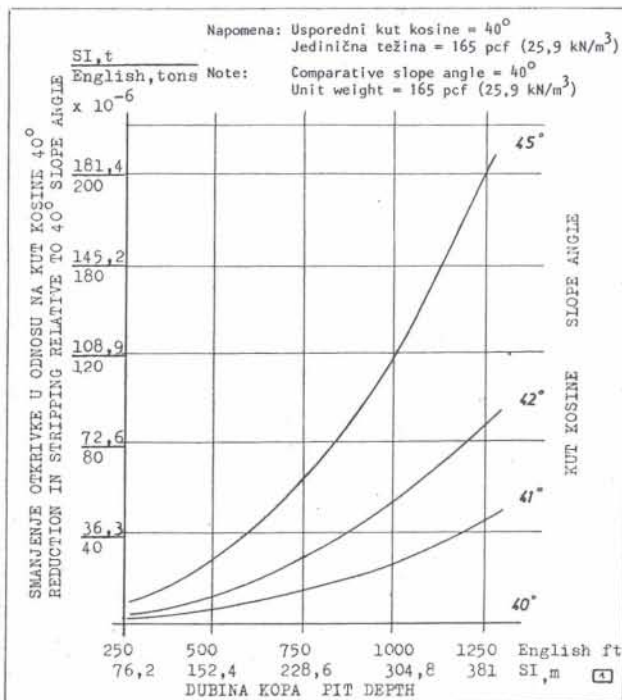
Treći značajni činilac je primjenjena tehnologija rada na otkrivci te izbor opreme za skidanje jalovine i transport jalovine, koja će se kod toga koristiti.

Utjecaj kuta završne kosine površinskog kopa

U ovom radu nipošto se ne namjerava preporučiti neki određen kut završne kosine koji bi se morao primjenjivati na svim površinskim kopovima da bi se postigao što bolji financijski rezultat poslovanja. Jasno je da je taj kut ovisan o mnogim činiocima. Na taj kut imat će značajan utjecaj položaj i oblik rudnog tijela, dubina zalijeganja, geomehaničke osobine prekrivajućih naslaga i dr. što se ne može izmjeniti, ali se želi ukazati na potrebu da se ne žali truda da se u danim uvjetima nađe najpovoljnije rješenje i da se prikaže koliko rješenje tog pitanja može utjecati na financijski efekt poslovanja.

Naravno da na ekonomiku poslovanja površinskog kopa ne utječe samo kut završne kosine, već i drugi činitelji. Međutim, izgleda da je ipak završni nagibni kut kosine kopa najznačajniji, pa ga stoga treba ovdje posebno naglasiti. Utjecaj kuta kosine grafički je prikazan na sl. 1 (Singhal, 1989). Prikaz daje

funkcionalnu ovisnost smanjenja količine otkrivke od dubine površinskog kopa i kuta nagiba završne kosine površinskog kopa.



Sl. 1. Ekonomičnost strmine stijena kopa
Fig. 1. The economics of steepening pit walls

Potrebno je upozoriti da podatke iz sl. 1 ne treba bezrezervno primjenjivati na sve slučajeve. Količina jalovine koja je u sl. 1 prikazana u milijunima tona, ovisi ne samo o dubini kopa i kuta završne kosine, već i o duljini kopa, što nije vidljivo iz dijagrama.

Tablica 1 – Koeficijent otkrivke u funkciji dubine, duljine i nagiba završne kosine površinskog kopa

Table 1 – Strip ratio in the function of pit depth, pit length and ultimate slope angle

Elementi Elements	Jaseničko polje etaža 10 m ramp	Jaseničko polje etaža 15 m ramp	Dračevac etaža 10 m ramp	Stari Gaj etaža 10 m ramp
Dubina kopa h, m Pit depth	55	55	45	45
Duljina kopa L, m Pit length	270	270	320	200
Kut nagiba γ_1 , ° Slope angle	32	35,5	40	34
Kut nagiba γ_2 , ° Slope angle	30	32	31	30
Smanjenje otkrivke 10^3 , m ³ Reduction of overburden	53.790	81.016	153.098	50.522
Količina rude 10^3 , t Ore quantity	660	660	606	330
Koeficijent otkrivke za kut γ_1 m ³ /t Strip ratio for angle	1,85	1,73	2,5	3,0
Koeficijent otkrivke za kut γ_2 m ³ /t Strip ratio for angle	1,93	1,85	2,75	3,15

Da bi sagledali kako kut kosine može utjecati na troškove proizvodnje, daju se u nastavku nekoliko pojednostavljenih primjera iz različitih površinskih kopova boksita u nas.

Da bi sagledali kako promjena koeficijenta otkrivke utječe na cijenu koštanja boksita, u nastavku se postavlja jednostavna kalkulacija cijene koštanja u kojoj je pretpostavljeno da u svim promatranim slučajevima otkopavanje rude košta 7,3 \$/t, a odvoz jalovine 6,4 \$/m³. Pod tim uvjetima, iznosila bi cijena koštanja boksita u pojedinim slučajevima:

1. Jaseničko polje – etaža 10 m	kut 32°	kut 30°
troškovi otkopavanja boksita	7,3 \$/t	7,3 \$/t
odvoz jalovine		
1,85 m ³ /t à 6,4 \$/m ³	11,8 \$/t	
1,9315 m ³ /t à 6,4 \$/m ³		12,4 \$/t
cijena koštanja boksita	19,1 \$/t	19,7 \$/t
2. Jaseničko polje – etaža 15 m	kut 35,5°	kut 32°
troškovi otkopavanja boksita	7,3 \$/t	7,3 \$/t
odvoz jalovine		
1,7272 m ³ /t à 6,4 \$/m ³	11,1 \$/t	
1,85 m ³ /t à 6,4 \$/m ³		11,8 \$/t
cijena koštanja boksita	18,4 \$/t	19,1 \$/t
3. Dračevac	kut 40°	kut 31°
troškovi otkopavanja boksita	7,3 \$/t	7,3 \$/t
odvoz jalovine		
2,5 m ³ /t à 6,4 \$/m ³	16 \$/t	
2,7526 m ³ /t à 6,4 \$/m ³		17,6 \$/t
cijena koštanja boksita	23,3 \$/t	24,9 \$/t
4. Stari Gaj	kut 34°	kut 30°
troškovi otkopavanja boksita	7,3 \$/t	7,3 \$/t
odvoz jalovine		
3 m ³ /t à 6,4 \$/m ³	19,2 \$/t	
3,153 m ³ /t à 6,4 \$/m ³		20,2 \$/t
cijena koštanja boksita	26,5 \$/t	27,5 \$/t

Iz ovih se primjera vidi da će se smanjenjem završnog kuta kosine povećati cijena koštanja boksita, i to:

Slučaj	Povećanje cijene koštanja
1.	za 3,14%
2.	za 3,80%
3.	za 6,87%
4.	za 3,77%

Postoci povećanja cijene koštanja po 1° smanjenja kuta završne kosine nisu isti. To je posve razumljivo ako se ima u vidu da jednadžba po kojoj se može izračunati cijena koštanja rude (boksita) glasi:

$$CK = \frac{\text{tg}(90 - \gamma) h^2 L + 2B}{2Q} p + q \quad (1)$$

u kojoj su:

- CK – cijena koštanja boksita, \$/t;
- γ – kut završne kosine, (°);
- h – dubina kopa, m;
- L – prosječna duljina kopa, m;
- B – količina jalovine, osim količine izračunate izrazom $\frac{\text{tg}(90 - \gamma) h^2 L}{2}$, m³;
- Q – količina dobivenog boksita, t;
- p – cijena koštanja odvoza jalovine, \$/m³;
- q – cijena koštanja otkopavanja boksita, \$/t;

Iz ove se jednadžbe vidi da na cijenu koštanja boksita ne utječe samo kut završne kosine, već i ostali činioci označeni u jednadžbi sa h , L , B , Q , p i q . Ako se želi sagledati samo utjecaj kuta završne kosine, ostale činioce treba promatrati kao konstante. Tako se može postaviti slijedeći primjer:

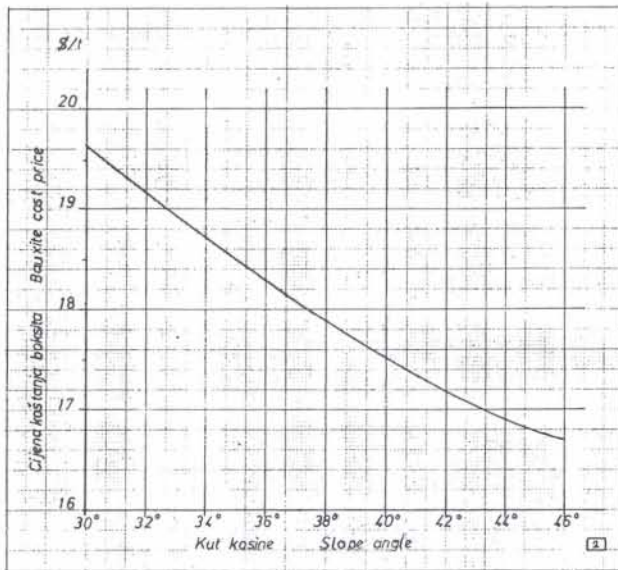
$$\begin{aligned} h &= 55 \text{ m} \\ L &= 270 \text{ m} \\ B &= 567\,463 \text{ m}^3 \\ Q &= 660\,000 \text{ t} \\ p &= 6,4 \text{ \$/m}^3 \\ q &= 7,3 \text{ \$/t} \end{aligned}$$

Ovisnost cijene koštanja o kutu kosine u ovom hipotetičkom kopu vidljiva je iz dijagrama na sl. 2.

Iz naprijed izloženih podataka i grafičkog prikaza u sl. 2 vidljivo je da završni kut kosine nema linearni utjecaj na cijenu koštanja boksita (rude). U prikazanom primjeru to je blaga krivulja čija je jednadžba

$$y = 0,00431x^2 - 0,5133x + 31,17584 \quad (2)$$

ali ta krivulja može poprimiti i drugačiji oblik, što ovisi o veličini i međusobnom odnosu ostalih elemenata u jednadžbi (1).



Sl. 2. Kretanje cijene koštanja boksita u ovisnosti o kutu završne kosine

Fig. 2. Impact of ultimate slope angle on the bauxite cost price

Utjecaj puteva transporta jalovine

Značajni dio troškova premještanja jalovine odnosi se na transport jalovine iz kopa na odlagalište. Da bi se ovi troškovi sveli na najmanju moguću mjeru, potrebno je nastojati naći mogućnost da se jalovina odlaže što je moguće bliže kopu ili, ako to okolnosti dozvoljavaju, u samome kopu. Određivanje optimalne lokacije odlagališta mora uzeti u razmatranje dva najznačajnija momenta:

- budući razvoj kopa, kako se odlagalište ne bi našlo na prostoru koji će u bližoj ili daljoj budućnosti postati kop;
- geotehnički podaci relevantni za određivanje poželjne lokacije odlagališta.

U okviru svakog projekta površinskog kopa treba razraditi detaljni godišnji plan troškova odvoza jalovine. Za očekivati je da će se ti troškovi povećavati s povećavanjem dubine kopa i povećavanjem odlagališta. Ima mišljenja prema kojima može biti povoljno sa stajališta ekonomičnosti i operativnosti locirati odlagalište što bliže kopu, bez obzira što će se ta ista jalovina morati par godina kasnije ponovno prenositi na neko drugo mjesto (suprotno postavci pod a). Da bi se odlučili za takvo rješenje, potrebno je napraviti detaljne kalkulacije troškova za svaku godinu životnog vijeka projekta i usporediti ih sa varijantom u kojoj se jalovina odvozi odmah na svoje konačno odlagalište.

Svakako da ne treba uzimati u obzir samo udaljenost lokacije odlagališta od kopa, već treba posvetiti punu pažnju i trasiranju odvoznih puteva, što također može veoma značajno utjecati na troškove prijevoza jalovine kako u pogledu investiranja u transportnu opremu, tako i u same troškove prijevoza.

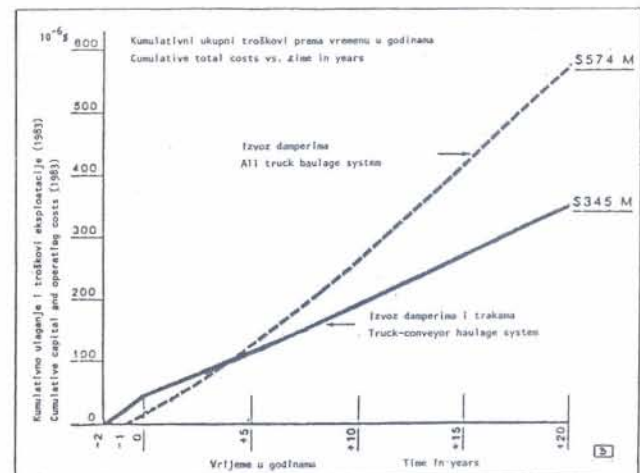
Utjecaj opreme za odvoz jalovine i rude

U procesu dobivanja i odvoza rude i jalovine mogu se koristiti različite vrste opreme. Stoga je prilikom projektiranja površinskih kopova potrebno izvršiti analizu ulaganja i troškova eksploatacije u slučajevima primjene različitih vrsti opreme. Prema referatu (Singhal, 1989) bile su razmatrane tri vrste opreme: dragline-i, zatim utovarivači i damperi, te konačno skreperi. Dobivene su slijedeće interne stope rentabilnosti:

- kod primjene dragline-a 16,12%
- kod primjene utovarivača i dampera 12,13%
- kod primjene skrepera 13,18%

U istom referatu daje se i slika 3, koja pokazuje kumulativne troškove ulaganja i troškove proizvodnje u dva slučaja: izvoz samo damperima i izvoz kombiniranim sustavom dampera i traka.

Iz ovog prikaza razabire se da bi primjena kombiniranog sustava dampera i traka bila povoljnija, jer izaziva niže troškove od prijevoza samo damperima.



Sl. 3. Usporedba kumulativnih troškova izvoza damperima i kombiniranim sustavom damperi-trake

Fig. 3. Comparative cumulative costs for all truck and a combined track-conveyor system

Zaključak

Na kraju se želi istaći nada da su nekoliko naprijed navedenih primjera dovoljno upozorili na značaj i potrebu detaljne analize u više varijanti pojedinih komponenata investicijskih ulaganja i troškova eksploatacije površinskih kopova. Ovakove analize i odabir optimalne varijante mogu u mnogome smanjiti troškove proizvodnje na površinskim kopovima

i omogućiti najrentabilnije moguće poslovanje u danim okolnostima.

Primljeno: 14. I. 1992.

Prihvaćeno: 9. VI. 1992.

LITERATURA

Singhal, R. (1989): Mine Planning: the Key to Profits. »World Mining Equipment«, January 1990, str. 32-35, London.

Influence of Overburden on Economical Exploitation of Open Pits

K. Grabowsky and V. Rendulić

The prospects for maximum profitability should already be included in the planning stage of a mining installation. In case of open pits, it is extremely important that planning foresees the best possible conditions for reducing the costs of exploitation to a minimum. This concerns ultimate slope angle, waste transportation routes and selection of equipment to be used in workings and transportation. The overburden ratio, as well as the cost of ore extraction, are significantly affected by increase in the ultimate slope angle, i.e. under certain conditions, the change of 1° in ultimate slope angle can cause cost price to be lower or higher for several percents.

A distance of waste deposit and determination of waste removal routes also influence the final cost of ore, but it is considerably variable and dependable on numerous factors.

The selected equipment and waste and ore transportation systems can change internal profitability rate by several percent and can reduce costs by some millions of dollars during the life of the mining installation.

In accordance with the above said, in planning of any open pit it is necessary to develop several alternative solutions which would consider the afore listed problems in the most acceptable manner for certain conditions. The best applicable can then be selected for the utmost profit at the lowest costs.