

OGRANIČENJE KONTURA MINERALNE SIROVINE U PROSTORU LEŽIŠTA S OBZIROM NA KVALITETU

Ivan TOMAŠIĆ

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

Ključne riječi: Ograničenje kontura, Kvaliteta mineralne sirovine, Prostor ležišta

U fazi pripreme i razrade ležišta za eksploataciju, a na osnovi istražnih radova, izvršeno je prenošenje dobivenih rezultata o kvaliteti mineralne sirovine na površinu. Dobiveni rezultati poslužili su za razradu i projektiranje dinamike otkopavanja ležišta, ali i za određivanje graničnih kontura mineralne sirovine u prostoru ležišta s obzirom na kvalitetu.

Primjer obraden u ovom radu odnosi se na površinski kop lapora i vapnenca za cementnu industriju »Partizan« kod Splita.

Key-words: Delineation of boundary contours, Raw material quality, Deposit space

On the basis of performed explorations, in the phase of deposit preparation and development for exploitation the obtained results regarding the raw material quality were transferred to the surface. The results served both for the development and planning of deposit excavation dynamics and for the delineation of boundary contours by mineral raw materials within the deposit space considering the quality.

The case presented in the article refers to the marl and limestone open pit for the cement industry, the »Partizan« near Split.

Uvod

Svako ležište mineralnih sirovina u svom vijeku karakteriziraju tri osnovne faze razvoja. Prva se odnosi na geološko istraživanje, tj. njegovo otkrivanje i definiranje odgovarajućim parametrima i dokumentacijom. Druga faza se odnosi na razradu ležišta, tj. izradu kompletne dokumentacije, probnu eksploataciju i obavljanje svih priprema za otkopavanje. Eksploatacija ležišta, s korekcijom i dopunom podataka i parametara iz faze istraživanja, čine treću fazu u njegovom razvojnom vijeku. U novije vrijeme potrebno je površinske kopove poslije eksploatacije sanirati i kultivirati, pa bi ovi radovi mogli predstavljati četvrtu fazu. Istražni su radovi nezaobilazna faza u razvoju svakog ležišta. Neko ležište stoga možemo nazvati ležištem samo ako ono sadrži prirodno koncentrirane, ali i istražene korisne mineralne sirovine.

Istraživanjem se utvrđuju kvalitativne i kvantitativne značajke mineralne sirovine kao i njen prostorni raspored i međusobni odnos s pratećim okolnim stijenama.

Da bi se uspješno izvršila priprema i razrada ležišta za eksploataciju potrebna je maksimalna prilagodba uvjetima u kojima se mineralna sirovina nalazi.

Pravilnim određivanjem geometrijskih elemenata, visine, nagiba i položaja etaža u prostoru ležišta s obzirom na kvalitetu koja je utvrđena istražnim radovima, može se znatno utjecati na dinamiku i način eksploatacije većeg broja mineralnih sirovina. Ležišta kod kojih je neophodno izvršiti spomenute predradnje su ona kod kojih mineralna sirovina nakon eksploatacije ulazi u neki tehnološki proces

u kojem pod djelovanjem povišenih temperatura dolazi do promjena u mineralnom i kemijskom sastavu. Pri tome je vrlo važno da mineralni i kemijski sastav ulaznih sirovina bude kontroliran, ujednačen ili posebno homogeniziran, kako bi novonastali proizvod dobio traženu kvalitetu. Ovakav postupak kod nemetalnih mineralnih sirovina zahtijevaju najčešće sirovine za cimente, keramičke proizvode, kamenu vunu, staklo i vapno.

1. Prospekcija i detaljno istraživanje ležišta istražnim radovima,
2. Projektiranje i selekcioniranje ležišta,
3. Projektiranje dinamike otkopavanja odnosno proizvodnje,
4. Istraživanje u fazi eksploatacije (korištenje rezultata analiza uzoraka uzetih iz minskih–proizvodnih bušotina).

Istraživanje sirovina za cimente

Istraživanje sirovina za proizvodnju cementa sve je više kompleksan posao. Danas gotovo i nema ležišta kod kojeg bi u jednoj sirovini postojao približno idealni odnos između CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 i SO_3 , a koji je izražen glavnim kriterijima za određivanje kvalitete cementa, koeficijentom zasićenja (SZ), silikatnim (SM) i aluminatnim (AM) modulom.

U istraživanju ležišta razlikujemo nekoliko faza:

Svrha svih ovih istraživanja je određivanje odnosa mase pojedinih glavnih komponenti u sirovini odnosno u ležištu, a koje je potom potrebno redovito komparirati (homogenizirati) s ostalim sirovinama,

tj. dodacima potrebnim za proizvodnju odgovarajuće vrste cementa. Sve to utječe na rješavanje i definiranje geometrije nekog ležišta o čemu ovise:

1. Raspored istražnih bušotina i gustoća uzimanja uzoraka u odnosu na građu ležišta i tektonski sklop,
2. Obrada podataka dobivenih istražnim radovima i analiza uzoraka, te način njihovog prikazivanja na profilima i budućim planiranim etažama, s naglaskom na prikazivanje prostornog rasporeda korisnih komponenti.
3. Rezultati istražnih radova u toku proizvodnje.

Prenošenje kvalitete mineralne sirovine

Procjena mineralnih rezervi jedan je od najvažnijih faktora u pripremi realizacije rudarske eksploatacije. Pri tom je potrebno da se vrijednosti dobivenih analiza uzoraka, koji su kontinuirano ili diskontinuirano uzeti duž neke bušotine, prenesu na određene površine, npr. profile, etaže, blokove, pa i na cijelo ležište (Jančković, 1957). Ukoliko u ležištu imamo jednu komponentu, npr. sadržinu CaCO_3 , iz neke mineralne sirovine, tada prenošenje možemo obaviti na nekoliko načina:

1. Prenošenje po dužini intervala bušotine (u »m«)

$$\bar{x} = \frac{s_1 \cdot l_1 + s_2 \cdot l_2 + s_3 \cdot l_3 + \dots = \frac{s_n \cdot l_n}{l_n} (\%) \quad (1)$$

\bar{x} — srednja vrijednost kvalitete uzorka proporcionalna dužini uzorkovanih i kartiranih intervala bušotine,

s_i — srednja vrijednost kvalitete za pojedine intervale,

l_i — dužina uzorkovanog intervala.

2. Prenošenje na površinu (u »m²«)

$$\bar{x} = \frac{s_1 \cdot p_1 + s_2 \cdot p_2 + s_3 \cdot p_3 + \dots = \frac{s_n \cdot p_n}{p_n} \% \quad (2)$$

\bar{x} — srednja vrijednost kvalitete uzorka proporcionalna odgovarajućoj pripadnoj površini,

p_i — odgovarajuća pripadna površina na koju se odnosi odgovarajuća pripadna kvaliteta $s_1, s_2, s_3 \dots$

3. Prenošenje na volumen (u »m³«)

$$\bar{x} = \frac{s_1 \cdot v_1 + s_2 \cdot v_2 + s_3 \cdot v_3 + \dots = \frac{s_n \cdot v_n}{v_n} (\%) \quad (3)$$

\bar{x} — srednja vrijednost kvalitete uzorka proporcionalna volumenu bloka,

v — odgovarajući pripadni volumen na koji se odnosi odgovarajuća kvaliteta $s_1, s_2, s_3 \dots$

3. Prenošenje na volumen i masu

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{s_1 \cdot vm_1 + s_2 \cdot vm_2 + s_3 \cdot vm_3 + \dots}{vm_1 + vm_2 + vm_3 + \dots} = \\ &= \frac{s_n \cdot vm_n}{vm_n} (\%) \end{aligned} \quad (4)$$

\bar{x} — srednji sadržaj proporcionalan određenoj prostornoj masi,

vm_i — odgovarajući pripadni volumen i masa na koju se odnosi pojedina srednja kvaliteta $s_1, s_2, s_3 \dots$

Preko većeg broja profila ili blokova na ovaj način dobiva se srednja sadržina korisne komponente za cijelo ležište. To je geometrijska metoda prenošenja koja se još uvijek često primjenjuje. Tako se postiže da se iz serije uzoraka, bez obzira na njihovu dužinu, a s time i težinu, vrijednost njihove kvalitete prenese u istražni prostor ležišta koji je ograničen istražnim radovima.

Primjer prenosa kvalitete i ograničenja kontura ležišta u odnosu na sadržinu CaCO_3

Primjer je obraden na površinskom kopu »Partizan« kod Kaštel Sućurca, na kojem se eksploatiraju lapori, vapnenci i pješčenjaci. Središnji dio ležišta, kako to prikazuju slike 1 i 2, predstavlja prirodnu sirovinu — lapor (zona D) za dobivanje cementa sa sadržinom CaCO_3 od 74 do 77,5%. Podinu sačinjavaju vapnenačke breče sa sadržinom CaCO_3 , i preko 80% i dijelom lapori i pješčenjaci u izmjeni (zone E i F) sa sadržinom CaCO_3 od 55 do 71%. Ležište je istraženo istražnim bušotinama (sl. 2 i 3).

Prema petrološkim karakteristikama to su klasične naslage eocenskog fliša (slika 1) koje karakterizira ritmičnost u sedimentaciji. Sastoje se od numulitnih breča, kalkarenita, kalcisilita, kalcilutita, laporovitih vapnenaca, vapnenačkih lapora, lapora i pješčenjaka. Naslage brazde približno istok-zapad, upadajući prema sjeveru 15° do 53°, a najčešće 30° do 40°.

Zahtjev tehnologa bio je da se priprema mješavina sirovina koja bi na ulazu u tehnološki proces trebala sadržavati 76% CaCO_3 . Izvršeno je ograničenje površinskog kopa »Partizan« po dužini (pravac pružanja naslaga) na približno 2500 m i po širini na približno 500 m, pri čemu su ukupne rezerve trebale imati spomenutu srednju sadržinu CaCO_3 .

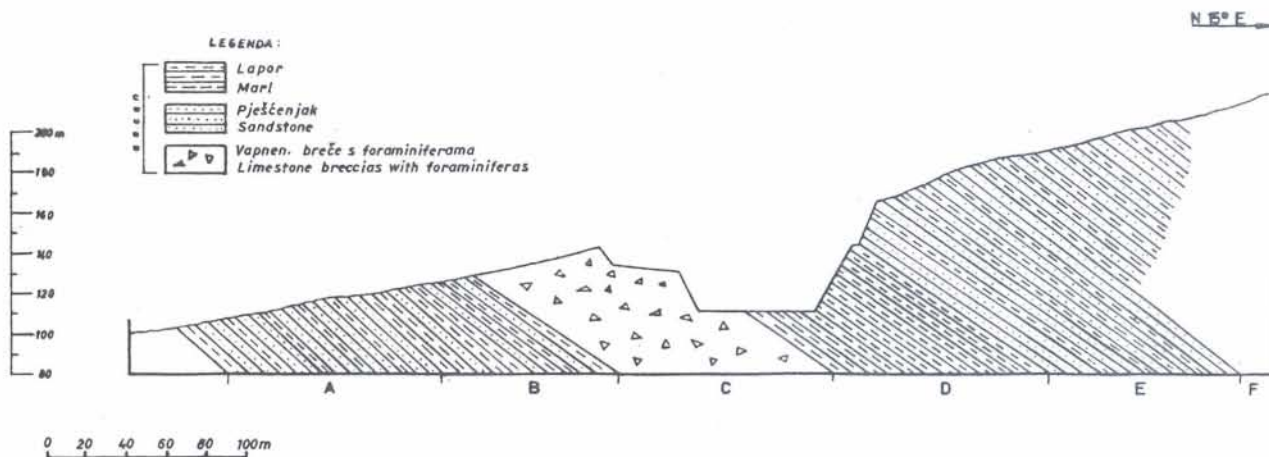
Cijeli je postupak raden na temelju predhodnih obimnih geoloških istraživanja bušenjem te rezultata kemijskih analiza uzoraka uzetih na ispuh.

Istraživanja su obavila Geotehnika, Zagreb, te Geološki zavodi iz Ljubljane i Zagreba. Autori o kvaliteti i rezervama sirovinske osnove za cementnu industriju bili su Jureković, T. i Terze, A. (1966), Dimkovski, T. (1968) i Lukšić, B. (1976).

Ukupno je izbušeno 335 bušotina u ukupnoj dužini od 12523 m. Sadržina CaCO_3 analizirana je za svaki metar a djelomično za svaka dva metra. Rađene su i kompleksne kemijske analize za oko 30% istražnih radova izvedenih bušenjem. Ukupno je na raspolaganju bilo 10285 podataka o sadržini CaCO_3 .

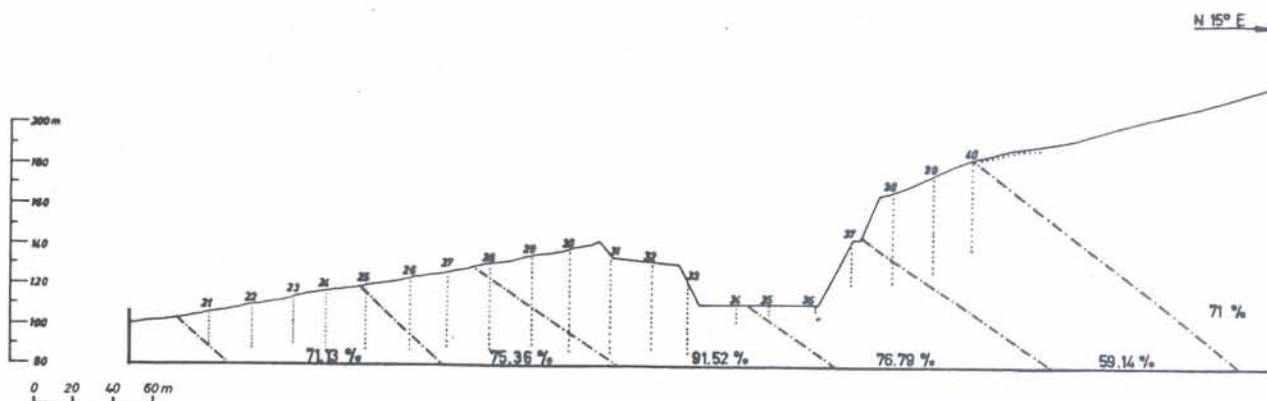
Cijeli je postupak izvršen slijedećim redoslijedom:

1. Selekcioniranje pojedinih intervala po bušotinama prema ujednačenosti kvalitete s obzirom na udio CaCO_3 .



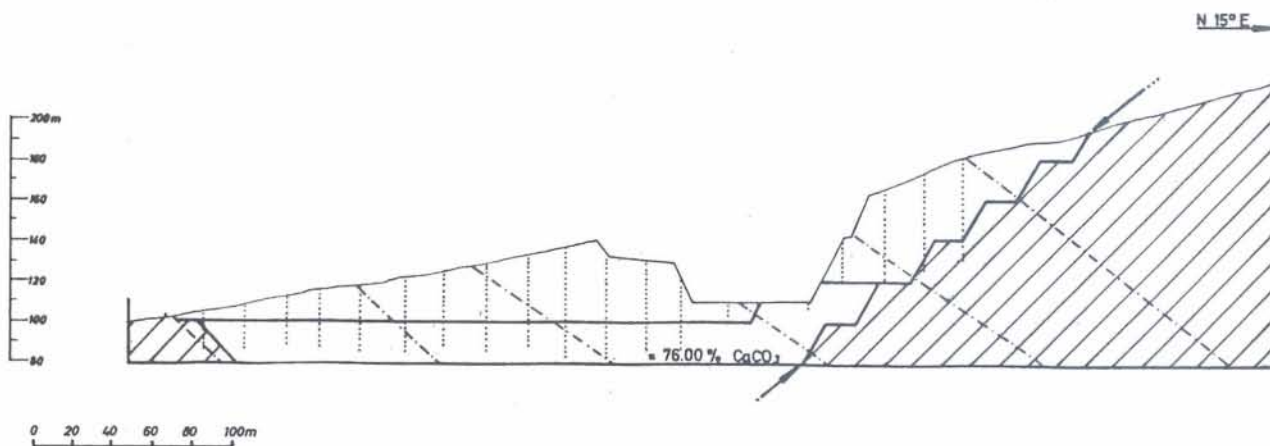
Sl.1. Geološki profil kroz ležište "Partizan"

Fig.1. Geological cross-section through the deposit "Partizan"



Sl.2. Lokacije istražnih bušotina i prenos kvalitete na odgovarajuće površine (sadržine CaCO₃)

Fig.2. Location of drilling exploration and transferring of quality to the surface (content of CaCO₃)



Sl.3. Ograničenje kontura mineralne sirovine s obzirom na kvalitetu (srednji sadržaj CaCO₃)

Fig.3. Delineation of boundary contours of mineral raw materials considering the quality (mean content of CaCO₃)

2. Izračunavanje ponderirane sredine \bar{x} po prethodno selekcijom izdvojenim intervalima.

3. Izdvajanje zona sličnog sastava na profilima (slika 2).

4. Izračunavanje ponderirane sredine \bar{x} (po formuli 1) za bušotine približno iste sadržine CaCO_3 unutar jedne zone. Tako je utvrđena prosječna vrijednost pojedinih intervala bušotina unutar jedne, po kvaliteti iste zone.

5. Prenošenje prosječne sadržine CaCO_3 svih intervala jedne zone na površine po etažama (etaže po 20 m visine iznad osnovne na koti 80 m) i to posebno za visoku komponentu (lapor i vapnenac sa sadržinom iznad 76% CaCO_3) i posebno za nisku komponentu (lapor i pješčenjaci sa sadržinom ispod 76% CaCO_3).

6. Ograničenje pojedinog profila na srednju sadržinu 76% CaCO_3 . Ograničenje je izračunato po formuli (5), a koja slijedi iz formule (2),

$$\bar{x} = \frac{s_1 \cdot p_1 + s_2 \cdot p_2}{p_1 + p_2}$$

odnosno

$$p_2 = \frac{p_1 (s_1 - \bar{x})}{\bar{x} - s_2}$$

$$p_2 = \frac{p_1 (s_1 - 76)}{76 - s_2}$$

p_2 – tražena površina profila srednje sadržine niske komponente (76% CaCO_3),

p_1 – poznata površina profila srednje sadržine niske komponente (76% CaCO_3),

s_2 – srednja sadržina niske komponente,

s_1 – srednja sadržina visoke komponente,

76 – zahtijevana srednja sadržina CaCO_3 .

Ponavljanjem ovog postupka za svaki profil pojedinačno dobivena je sjeverna granica površinskog kopa (sl. 3) s obzirom da je južna granica bila unaprijed utvrđena time što se ležište u tom smjeru ne može širiti. Osnovni plato (kota 80 m), visine etaža (20 m) i nagib završne kosine (36,5°) te južna granica kopa, bili su utvrđeni projektom (Vujec et al., 1978). Ovaj postupak ograničenja rezervi određene kvalitete u ležištu uz pridržavanje projekta dinamike eksploatacije smanjuje mogućnost raubanja, tj. traženja sirovine određene kvalitete izvan plana i granica projekta, te pruža ostavljanje pravilnih završnih kosina i olakšava jednostavniju rekultivaciju nakon prestanka eksploatacije.

Zaključak

Razraden i opisan primjer ograničenja mineralne sirovine u prostoru ležišta s obzirom na kvalitetu (sadržaj CaCO_3) ukazuje na važnost i potrebu izvođenja detaljnih istražnih radova, ne samo radi zadovoljavanja obima potrebnih istraživanja prema postojećim propisima, već da se dobije odgovarajuća baza podataka, obrada kojih omogućava bolju razradu i eksploataciju.

Geološki detaljno istraženo ležište, uz definiranje elemenata tektonskog sklopa i geneze, odnosno poznavanja zakonitosti pojave i rasporeda mineralnih komponenti, omogućava pravilni izbor položaja i visine pojedinih etaža i otkopne fronte.

Kao podloga korišteni su rezultati prethodno provedenih geoloških istraživanja bušenjem na ležištu – površinskom kopu eocenskih lapora, vapnenaca i pješčenjaka »Partizan« kod Splita (sl. 1).

Prenošenjem kvalitete mineralne sirovine (sl. 2) na odgovarajuće površine (profile) dobiveni su elementi za projektiranje dinamike otkopavanja sirovina posebno važnih za proizvodnju cementa. Cement se proizvodi iz ulaznih sirovina kod kojih mineralni i kemijski sastav od eksploatacije do homogenizacije i pečenja mora biti stalno kontroliran i ujednačen, kako bi novonastali proizvod dobio traženu kvalitetu. Ograničenjem površinskog kopa u odnosu na sadržaj CaCO_3 izbjegnuto je uobičajeno raubanje kvalitetne sirovine, a cijela je dinamika otkopavanja strogo kontroliran proces, pri čemu na raspolaganju stalno stoje različiti dijelovi ležišta na pojedinim etažama pripremljeni za eksploataciju. Takvi dijelovi ležišta u pravilu su različiti s obzirom na kvalitetu.

Ograničenjem kontura mineralne sirovine s obzirom na kvalitetu, a što je potrebno posebno naglasiti, omogućeno je da završne konture nakon prestanka eksploatacije budu maksimalno pravilne i uredne, te pogodne za rekultivaciju napuštenog prostora ležišta bez dodatnih velikih ulaganja.

S obzirom da su južna granica površinskog kopa i osnovni plato (kota 80 m) bili definirani, pomicanjem sjeverne granice generalno nagnute pod kutem 36,5° prema formuli (5), definirana je računski veličina površinskog kopa određena za eksploataciju sa srednjim sadržajem CaCO_3 od 76% (sl. 3) i obuhvaćena rudarskim projektom.

Uobičajeno je da se rezultati kemijskih analiza sirovine u ležištu najčešće obrađuju statističkim metodama. Pri tome se redovito izračunavaju: aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije, standardna greška i relativna standardna greška, te mjera asimetrije i zaobljenosti. Tako se npr. kod sirovina za cementnu industriju mogu izračunati korelacijski odnosi kalcijevog karbonata u odnosu na ostale okside. Dobiveni rezultati služe za izračunavanje modula SZ, SM i AM. To je glavni preduvjet da se iz analizirane prosječne sadržine CaCO_3 i ostalih oksida u pojedinim dijelovima ležišta mogu odrediti glavni cementni moduli. Na kraju se, s obzirom na ostale podatke koji se dodaju u hali homogenizacije tj. prije ulaska u peć, određuje udio pojedinih komponenti u sirovinskoj mješavini ograničenjem točnog miješanja matičnim metodama.

U novije vrijeme u fazi istraživanja do eksploatacije ovu problematiku obrađuju i metode geostatistike izradom različitih variograma koji karakteriziraju promjene u geološkoj građi nekog ležišta, pri čemu se određuje varijanca bloka i varijanca proširenja u procjeni blokova, te procjena količine i kakvoće mineralne sirovine za cijelo ležište. Geostatistika na bazi svojih procjena omogućava određene

uštete u fazi istraživanja, a koristi se prvenstveno u ležištima gdje postoje niske koncentracije korisnih mineralnih sirovina, nasuprot velikim količinama jalovine. Kod ležišta npr. sirovina za cementnu industriju, gdje je osim krovinske jalovine kompletna stijenska masa upotrebiva, klasičnim statističkim metodama i stalnom kontrolom uzoraka sirovine koja se još može miješanjem popraviti dodavanjem drugih komponenti mogu se zadovoljiti sve tehnološke potrebe, jer uštete na obimu istražnih radova ionako nisu moguće zbog propisa koji to ne dozvoljavaju.

Primljeno: 23. II. 1990.

Prihvaćeno: 4. VI. 1990.

LITERATURA

- Dimkovski, T. (1968): Cementni lapor »Partizan«. Elaborat o detaljnim istražnim bušenjima s proračunom rezervi. Fond stručne dokumentacije Geološki zavod, Ljubljana.
- Janković, S. (1957): Oprobavanje i proračun rezervi mineralnih sirovina. Zavod za geološka i geofizička istraživanja Srbije, str. 379, Beograd.
- Jureković, T. i Terze, A. (1966): Geološko istražna i kemijska ispitivanja, te utvrđivanje rezervi lapora i ostalih sirovina za tvornicu cementa »Prvoborac« u Solinu. Fond stručne dokumentacije Geotehnika, Zagreb.
- Lukšić, B. (1976): Istraživanje za cementnu industriju u širem području Splita – tupinolom »Partizan«. Fond stručne dokumentacije, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Vujec, S. et al (1978): Glavni rudarski projekt eksploatacije površinskog kopa »Partizan« u Kaštel Sućurcu. Arhiva, RGN-fakultet, Zagreb.

Delineation of Boundary Contours of Mineral Raw Materials within the Deposit Space Considering the Quality

I. Tomašić

The case presented in this article refers to the deposit of the Eocene marl, limestone and sandstone open pit, the »Partizan« near Split (fig. 1).

On the basis of exploratory drilling activities in the phase of deposit preparation and development for exploitation the obtained results from the content CaCO_3 are transferred to the surface (fig. 2).

The results were established on the results from preliminary geological drilling explorations (335 boreholes in the length of 12523 m) and on the results of the chemical analysis of the CaCO_3 content (10285) data).

The results of transferring to the surface i.e. the geological profiles, beside being used for reserve estimation have also been

applied to the contour delineation of mineral raw materials in the deposit space considering the quality, i.e. the mean content of 76% CaCO_3 (fig. 3).

The quality was first delineated on the borehole profile and then on the adequate surface by ponderable arithmetic mean of the formulas (1) and (2) and the delineation of boundary contours according to the formula (5), as resulting from the formula (2).

The obtained results have been used for the development and planning of excavation dynamics within entirely defined boundary contours of mineral raw materials in the deposit space (fig. 3).