

8.2.1. TEORIJSKE OSNOVE PROJEKTIRANJA POVRŠINSKIH KOPOVA

8.2.1.1. Ograničenje površinskih kopova

Proučavanje ležišta u cilju ograničenja površinskog kopa (obračun rezervi, odnosno obujma mineralne sirovine i otkrivke), po kvalitetu i kvantitetu, počinje od prvog istraživanja (prospekcije) pa sve do završetka eksploatacije.

Na osnovu bilančnih rezervi (djelomično i izvanbilančnih) izvodi se ograničenje površinskih kopova.

Eksploatacijske rezerve mineralne sirovine predstavljaju dio ograničenih rezervi koje se eksploatiraju prema izrađenim projektnim rješenjima.

8.2.1.2. Klasifikacija ležišta i površinskih kopova

Ležišta čvrstih mineralnih sirovina dijele se na:

- ležišta energetske mineralne sirovine
- ležišta mineralnih sirovina za industrijsku preradu
- ležišta mineralnih sirovina za proizvodnju građevnog materijala
- ležišta arhitektonsko-građevnog kamena
- ležišta ruda metala (kovina).

Površinski kopovi klasificiraju se prema:

- obliku
- reljefu (morfologiji)
- nagibu
- strukturi
- dimenzijama
- položaju u odnosu na topografiju terena.

Klasifikacija površinskih kopova prema obliku:

- izometrijska: razvijena više ili manje jednako u svim smjerovima
- slojevita: razvijena u dva smjera (pružanje i pad) s relativno ujednačenom debljinom
- stupna: razvijena u jednom smjeru koji je nesrazmjerno veći od ostalih dimenzija
- nepravilna ili masivna tijela promjenjivih dimenzija u svim smjerovima (masivi, leće, žice, žile i dr.).

Klasifikacija površinskih kopova prema reljefu (morfologiji):

- ravničarski
- kosinski
- brdski
- brežuljkasti.

Klasifikacija površinskih kopova prema nagibu ležišta:

- horizontalna ili blago nagnuta ležišta: nagib $< 10^\circ$
- kosa ležišta: nagib od 10° do 25°
- strma ležišta: nagib $> 25^\circ$
- prevrnutna ležišta: kada je stratigrafska podina zarotirana $> 90^\circ$.

Klasifikacija površinskih kopova prema strukturi ležišta:

- homogena ležišta, koja se sastoje od mineralne sirovine jedne vrste
- nehomogena ležišta, koja se sastoje od više mineralnih sirovina.

Klasifikacija površinskih kopova prema dimenzijama (površina, granična dubina, ukupne mase, vijek rada):

- vrlo mali površinski kopovi (do 0,4 km², do 40 m, do 10 mil. m³, do 10 god.)
- mali površinski kopovi (do 2,0 km², do 100 m, 10-100 mil. m³, 10-20 god.)
- srednji površinski kopovi (do 6,0 km², do 200 m, 100-500 mil. m³, 20-30 god.)
- veliki površinski kopovi (do 20,0 km², do 250 m, 500-2000 mil. m³, 30-60 god.)
- i vrlo veliki površinski kopovi (do 40,0 km², do 1000 m, 2000-10000 mil. m³, 60-100 god.).

Klasifikacija površinskih kopova prema položaju u odnosu na topografiju terena:

- plitki površinski kopovi (dubina 10-60 m) većina kopova pijeska, šljunka i lignita, vapnenaca s malim nagibom slojeva i dr. (slika 8.1)
- dubinski površinski kopovi: najveći dio ležišta metala, nemetala i smeđeg ugljena (slika 8.2)
- visinski površinski kopovi: ležišta metala, nemetala, kemijskih sirovina, arhitektonsko i tehničko-građevnog kamena (slika 8.3)
- visinsko-dubinski površinski kopovi: ležišta metala, nemetala, kemijskih sirovina, arhitektonsko i tehničko-građevnog kamena (slika 8.4)



PK a-gk „Pučišća-sivac“



PK gline "Slavonka"



PK građevnog pijeska i šljunka „Prodi“



PK gline „Cerje Tužno“

Slika 8.2.1 Primjeri plitkih površinskih kopova



Canada's Diavik Diamond Mine



Chuquibambilla copper mine, Chile



The Bingham Canyon Mine



Mirny Mine, Rusija

Slika 8.2.2 Primjeri dubinskih površinskih

kopanja



PK t-gk Pregrada II



PK a-gk Zaneti (Brazil)



PK t-gk Međurače



PK a-gk Visočani

Slika 8.2.3 Primjeri visinskih površinskih

konstrukcija



PK boksita Orašnica



PK željezne rude Smreka



PK boksita Skakavac



PK smeđeg ugljena Drage-Tušnica

Slika 8.2.4 Primjeri visinsko-dubinskih površinskih

8.2.1.3. Prirodni čimbenici i tehnološke zakonitosti formiranja površinskih kopova

Formiranje površinskih kopova je izuzetno kompleksan zadatak koji ovisi o cijelom nizu prirodnih i tehno-ekonomskih čimbenika.

Prirodni čimbenici predstavljaju dvije osnovne grupacije koje sačinjavaju skup kvalitativnih i kvantitativnih podataka kao što su:

- geotehničke i geomehaničke (fizičko-mehaničke) značajke stijena (kvalitativni čimbenici)
- koeficijenti otkrivke (kvantitativni čimbenici)
- granična dubina površinskog kopa (kvantitativni čimbenik)

Tehno-ekonomski čimbenici se temelje na tehnologiji otkopavanja i ekonomskim vrijednostima učinjenih troškova i ostvarenih prihoda.

Tehno-ekonomski čimbenici mogu se promatrati samo u uzajamnoj vezi s prirodnim čimbenicima, jer se radi o uzročno-posljedičnoj pojavi.

Omjer prirodnih i tehno-ekonomskih čimbenika pri formiranju površinskih kopova utvrđuje se određenim zakonitostima.

8.2.1.3.1. Geotehnički i geomehanički čimbenici površinskog kopa

Osnovne fizičko-mehaničke značajke stijena i mineralnih sirovina su:

- Kohezija
- Kut unutarnjeg trenja
- Gustoća
- Obujmna masa
- Nasipna masa
- Poroznost
- Rastresitost
- Vlažnost
- Vodopropusnost
- Abrazivnost
- Žilavost

8.2.1.3.2. Koeficijenti otkrivke i granična dubina površinskog kopa

Koeficijenti otkrivke

Koeficijent otkrivke je omjer obujma ili mase otkrivke prema obujmu ili masi mineralne sirovine.

Koeficijent otkrivke je varijabilna kategorija koja ovisi o vremenu i prostornim dimenzijama te može biti:

- eksploatacijski (tekući):** omjer obujma ili mase otkrivke (O) prema mineralnoj sirovini (R), u određenom razdoblju
- prosječni:** omjer ukupnog obujma ili mase otkrivke (O_u) prema ukupnom obujmu ili masi mineralne sirovine (R_u), u ograničenom površinskom koku
- investicijski:** omjer obujma ili mase investicijske otkrivke (O_i) prema ukupnoj količini mineralne sirovine u ograničenom površinskom koku R_u
- granični:** osnovni kriterij optimalnosti i efikasnosti površinske eksploatacije i predstavlja čisto ekonomski parametar. To je granica isplativosti površinske eksploatacije u odnosu na podzemnu eksploataciju ili u odnosu na tržišnu cijenu
- geološki:** omjer ukupne dužine istražne bušotine kroz otkrivku (H_o), prema ukupnoj dužini kroz mineralnu sirovinu (H_r).

Granična dubina površinskog kopa

Granična dubina površinskog kopa je pokazatelj koji se koristi pri odabiru načina eksploatacije ležišta, odnosno pri razmatranju da li je rentabilnije eksploatirati ležište površinskim kopom ili podzemnom jamom.

Granični koeficijent otkrivke izračunava se iz:

- jednakosti pune cijene mineralne sirovine s površinskog kopa (promjenjive s dubinom površinskog kopa) i konstantne cijene u podzemnoj eksploataciji
- uvjeta jednakosti ukupnih "troškova" površinske i podzemne eksploatacije i prerade mineralne sirovine
- uvjeta jednakosti dobiti iz površinske i podzemne eksploatacije.

Na **dubinu površinskog kopa** utječu:

- debljina prekrivnih naslaga
- znakoviti uvjeti zalijeganja mineralne sirovine i pratećih stijena
- reljef površine
- otvaranje
- smjer razvoja
- eksploatacijski sustav
- ekonomski pokazatelji podzemne i površinske eksploatacije.

8.2.1.3.3. Tehnološke zakonitosti formiranja površinskih kopova

Tehnološke zakonitosti formiranja površinskih kopova odnose se na:

- Dinamičnost radnih čela
- Stabilnost rudarskih radova
- Prednjačenje otvaranja i otkrivke ispred rudarskih radova dobivanja
- Cikličnost rudarskih radova

8.2.1.4. Geometrijska analiza površinskih kopova

8.2.1.4.1. Geometrijski parametri površinskih kopova

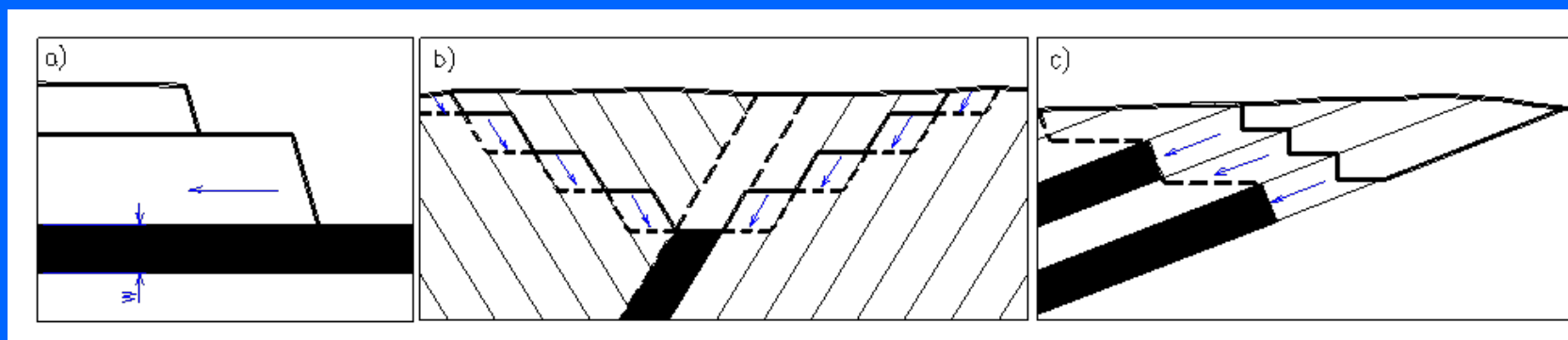
Osnovni geometrijski parametri površinskog kopa su:

- visina etaža
- širina radnih površina
- radna i završna kosina
- fronta radova.

Visina etaža i podjela površinskog kopa po visini

Površinski kop se dijeli po visini na etaže, čiji je razvoj (smjer napredovanja) najčešće horizontalan, strm ili kos (slika 8.5).

Visina i broj etaža ovise o debljini otkrivke i mineralne sirovine kao i o parametrima opreme, tj. primijenjenoj tehnologiji.



w - debljina mineralne sirovine, → - smjer napredovanja etaže

- a - horizontalni razvoj (smjer napredovanja) etaža,
- b - strmi razvoj (smjer napredovanja) etaža,
- c - kosi razvoj etaža (smjer napredovanja)

Slika 8.2.5 Podjela površinskog kopa po visini

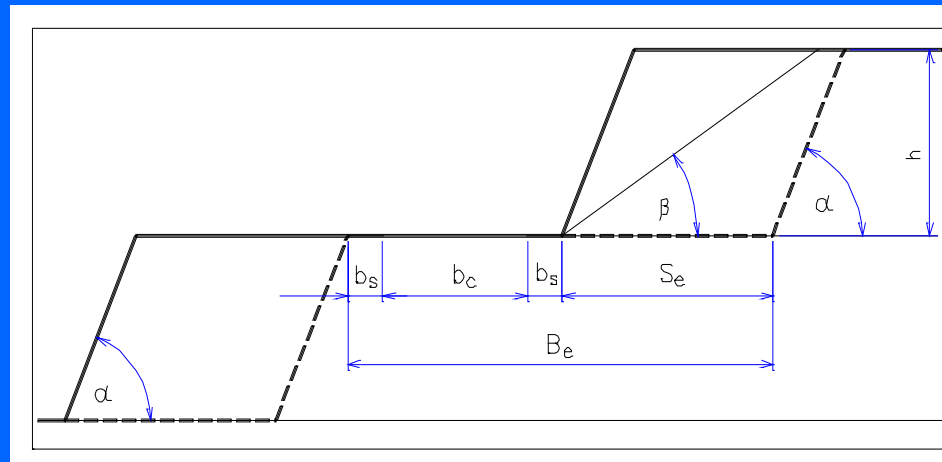
Širina radnih površina na etažama

Širina radnih površina na etažama (B_e) određuje se temeljem slijedećih zahtjeva (slika 8.6):

- širine transportnih puteva
- širine za rad, smještaj i manipulaciju osnovnih i pomoćnih strojeva
- sigurnom udaljenosti od etažnih kosina.

$$B_e = S_e + L + b_c + b_s \quad (8.1)$$

- S_e - širina napredovanja etaže u jednom zahvatu, m
 L_s - sigurnosna udaljenost od obrušavanja gornje etaže, m
 b_c - širina ceste, m
 b_s - sigurnosna udaljenost od ruba donje etaže, m



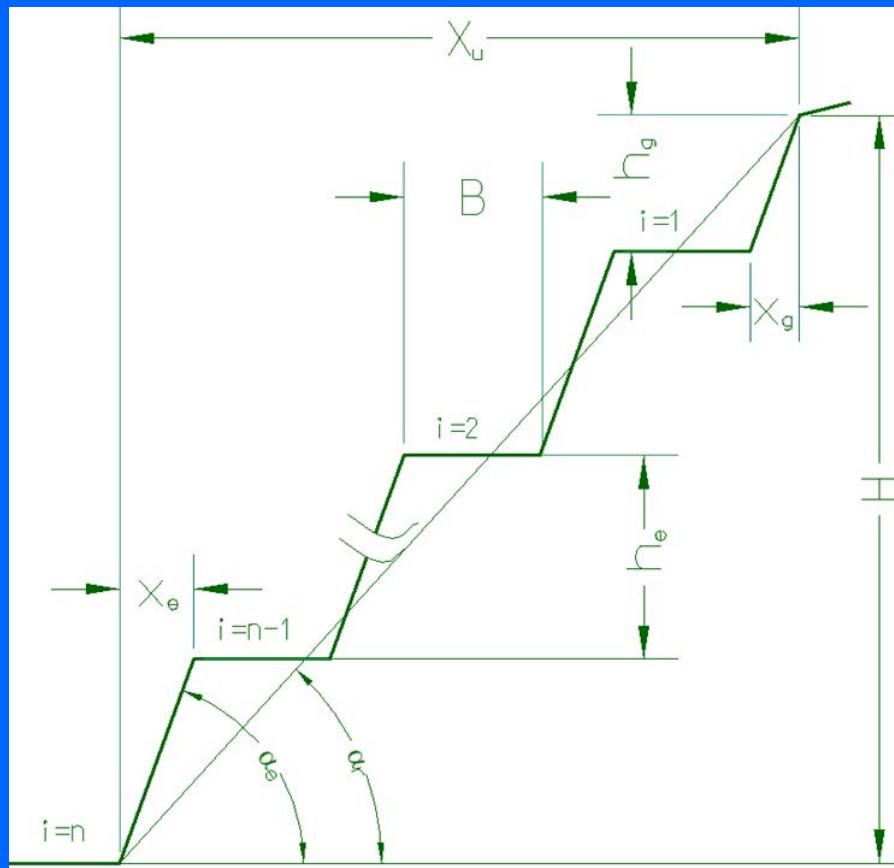
α - kut nagiba etažne kosine, β - kut obrušavanja niz etažu

Slika 8.2.6 Širina radne površine (berme) na etaži

Radna i završna kosina površinskog kopa

Radna kosina je pravac povučen kroz donji rub donje etaže i gornji rub gornje etaže (slika 8.7) u fazi izvođenja rudarskih radova-otkopavanja ležišta.

Završna kosina je pravac povučen kroz donji rub donje etaže i gornji rub gornje etaže (slika 8.7) na kraju izvođenja rudarskih radova-otkopavanja ležišta (na završnoj konturi površinskog kopa).



- H - visina svih etaža (kopa), m
- n - ukupan broj etaža
- h_e - visina jedne etaže, m
- h_g - visina gornje (najviše) etaže, m
- X_u - širina (projekcija) radne kosine, m
- B - širina etaže, m
- x_e - širina (projekcija) etažne kosine, m
- x_g - širina (projekcija) gornje (najviše) etažne kosine, m
- i - redni broj etaže

Slika 8.2.7 Shema parametara radne i završne kosine površinskog kopa

8.2.1.5. Otvaranje površinskog kopa

8.2.1.5.1. Opće postavke otvaranja površinskog kopa

Osnovni kriteriji za odabir načina otvaranja su:

- minimalni obujam rudarskih radova na otvaranju
- minimalna investicijska otkrivka
- što kraći transportni putovi
- što kraći rok izgradnje.

Pri odabiru mjesta otvaranja mora se voditi računa o slijedećem:

- konfiguraciji terena (brdovito, brežuljkasto, ravničarsko)
- dimenzijama površinskog kopa i ležištu mineralne sirovine
- geomehaničkim i geotehničkim parametrima otkrivke i mineralne sirovine
- investicijskoj otkrivci
- završnoj konturi površinskog kopa

8.2.1.5.2. Načini otvaranja površinskog kopa

Obzirom na poziciju i oblik, površinski kop može se otvoriti:

- **izradom usjeka, vanjskim i unutarnjim**

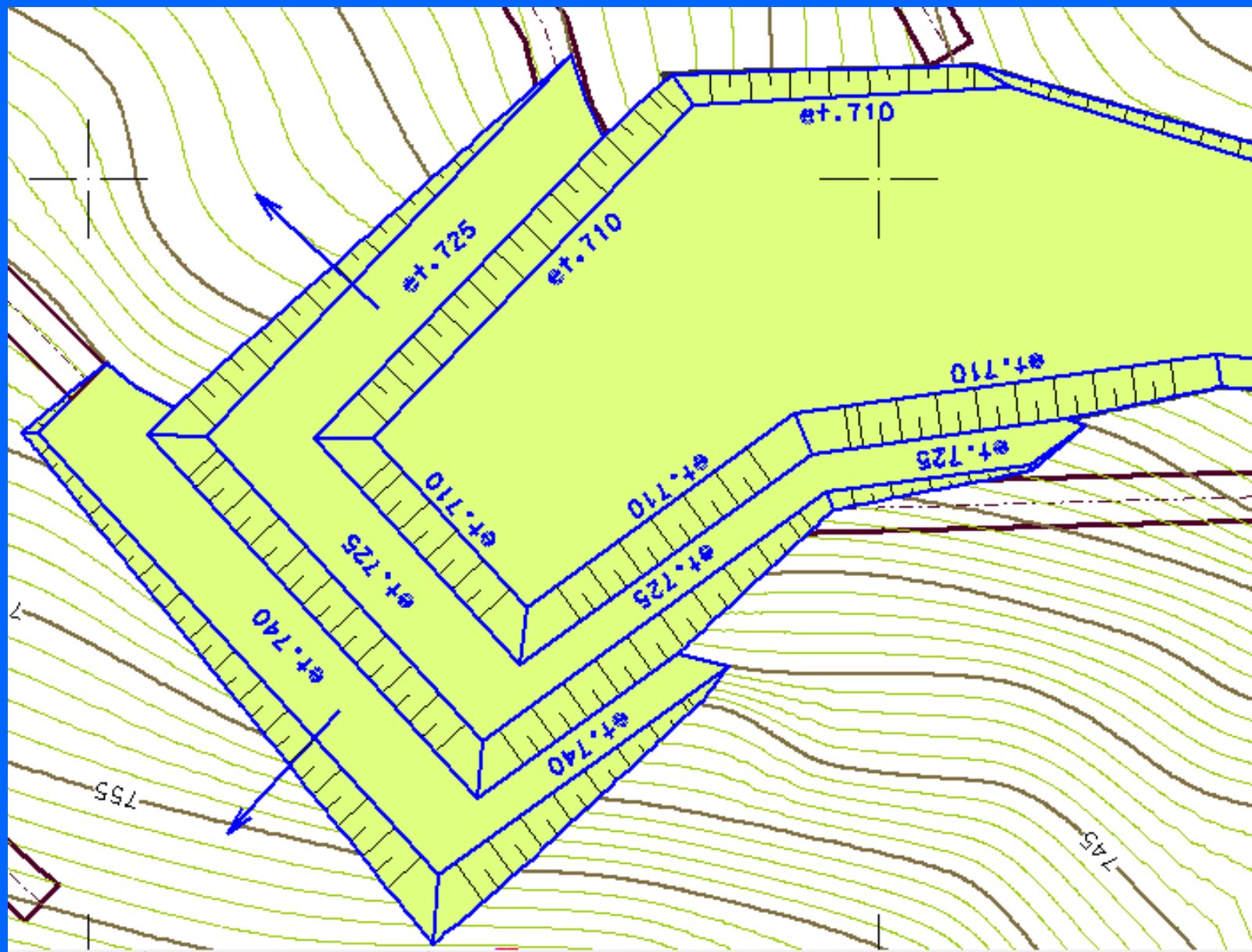
(Otvaranje usjekom primjenjuje se kod ležišta gdje se mineralna sirovina nalazi na većoj dubini od 10 m)

- **direktnim otvaranjem**

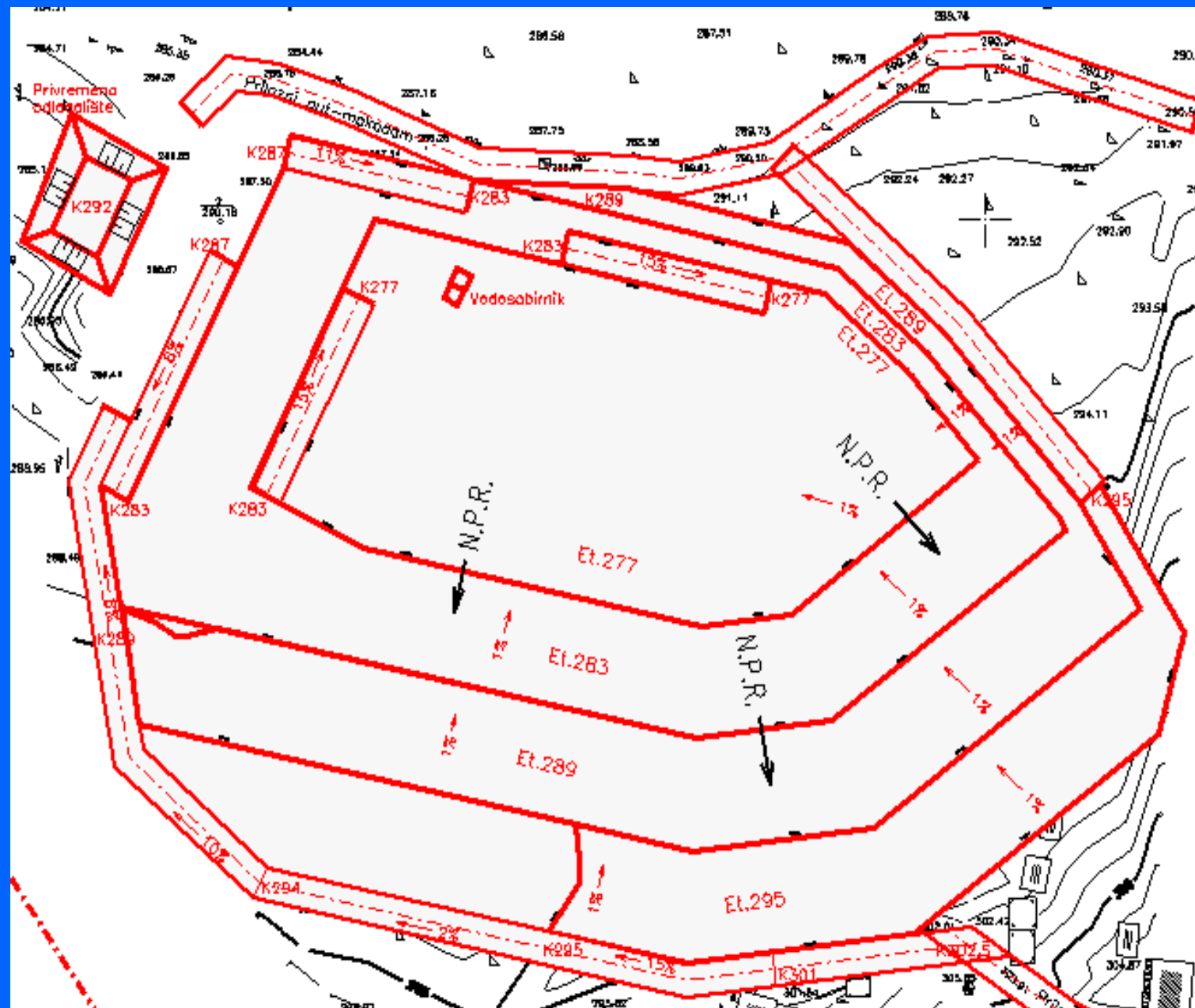
(Plitka ležišta do 10 m dubine, direktno se otvaraju s površine i otkrivka se u pojasevima otkopava i odlaže na odlagališta)

- **podzemnim prostorijama**

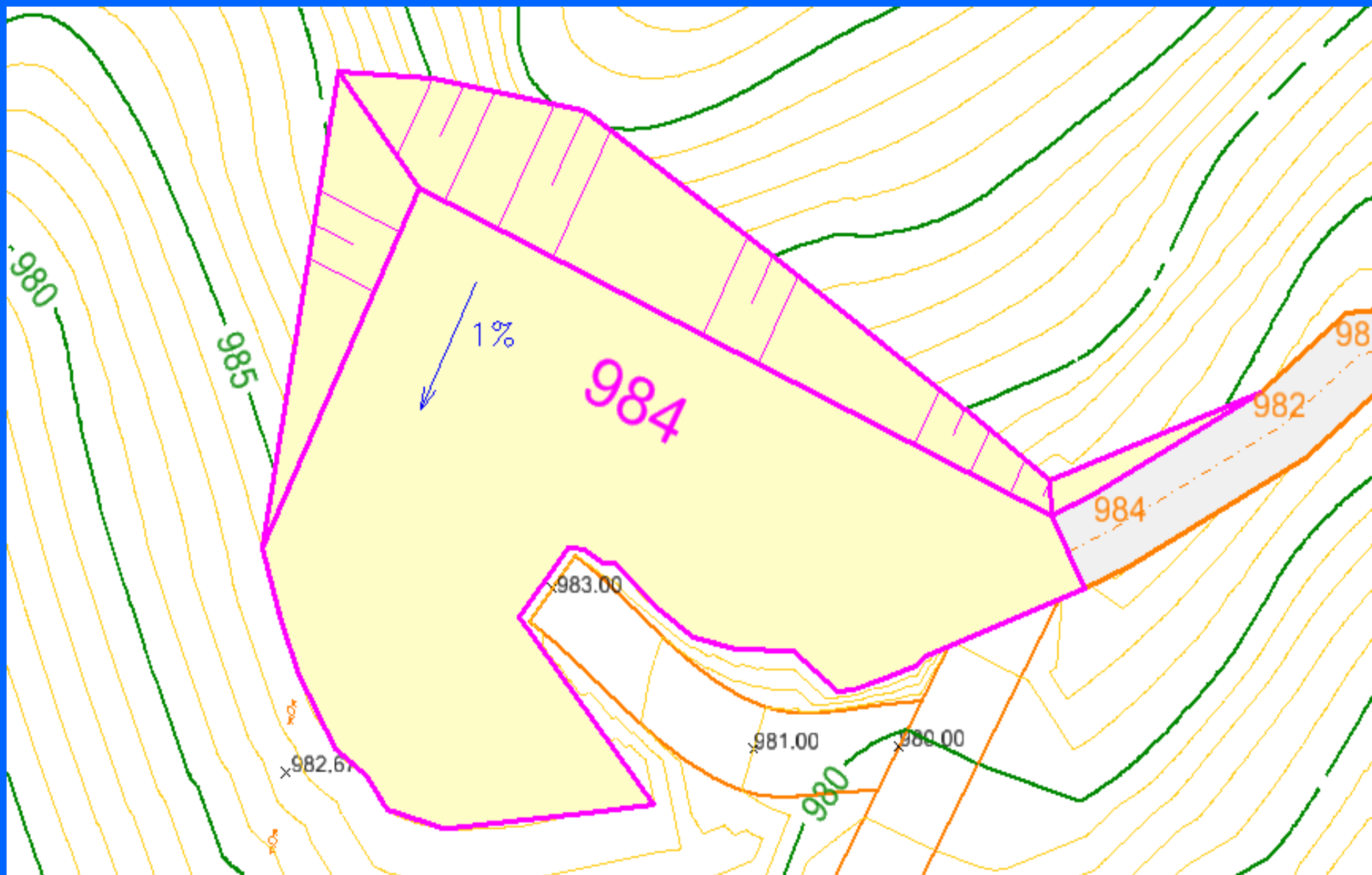
(Vrlo duboka ležišta visoko vrijedne mineralne sirovine duboka preko 200 m mogu se otvoriti u kombinaciji s jamskim prostorijama: kosim oknima, sipkama pa i potkopima - tunelima. Ovakav način otvaranja omogućava transport mineralne sirovine kraćim putovima, a što bitno može smanjiti cijenu mineralne sirovine)



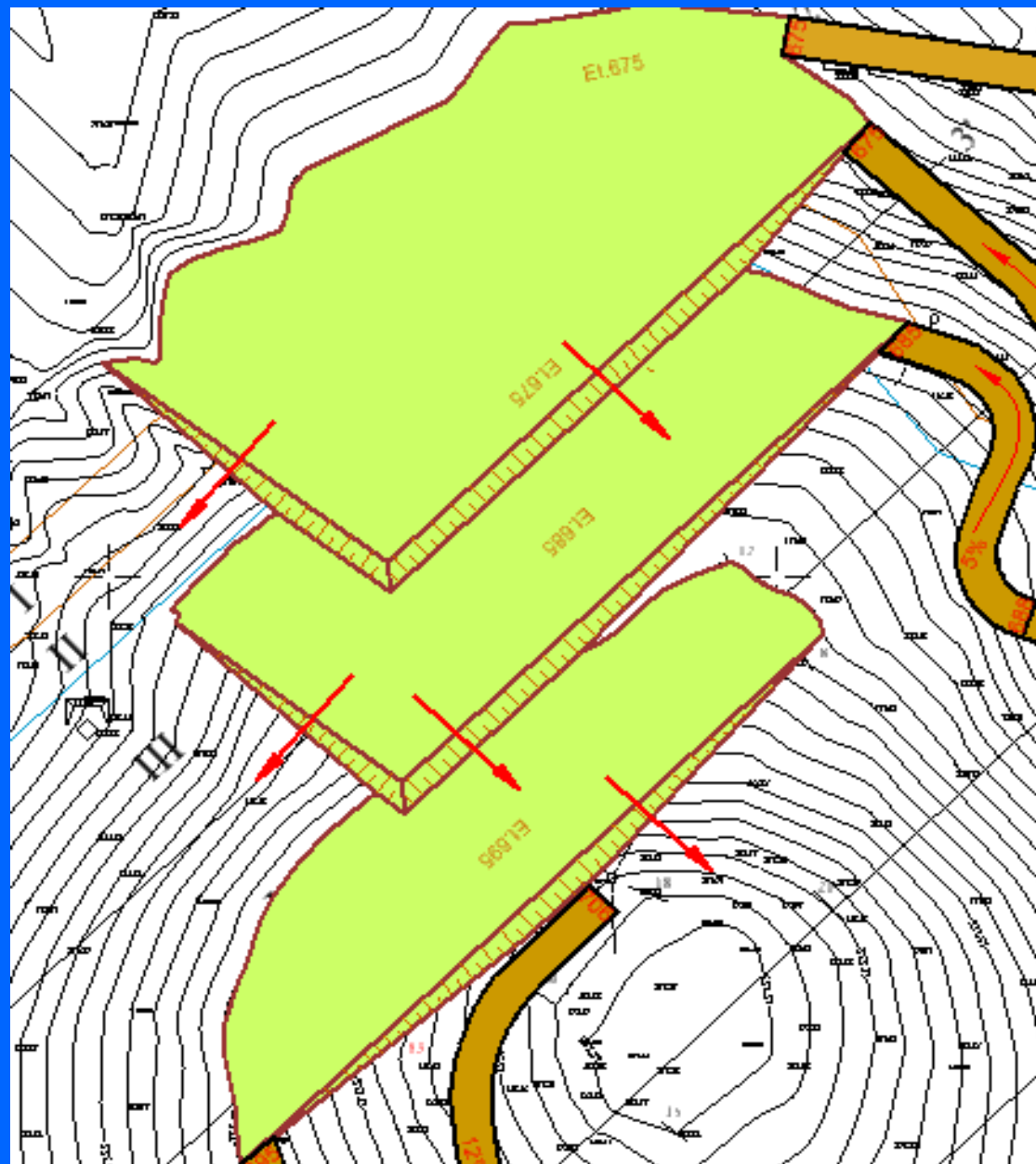
Slika 8.2.8 Otvaranje unutarnjim i vanjskim usjecima p.k. t-gk na brdskom terenu



Slika 8.2.9 Otvaranje unutarnjim usjecima p.k. a-gk na brdskom terenu



Slika 8.2.10 Direktno otvaranje p.k. t-gk, visinskog tipa, s jednom etažom



Slika 8.2.11 Direktno otvaranje p.k. t-gk, visinskog tipa, s više etaža



Slika 8.2.12 Direktno otvaranje p.k. a-gk, visinskog tipa, s više etaže

8.2.1.6. Razvoj rudarskih radova

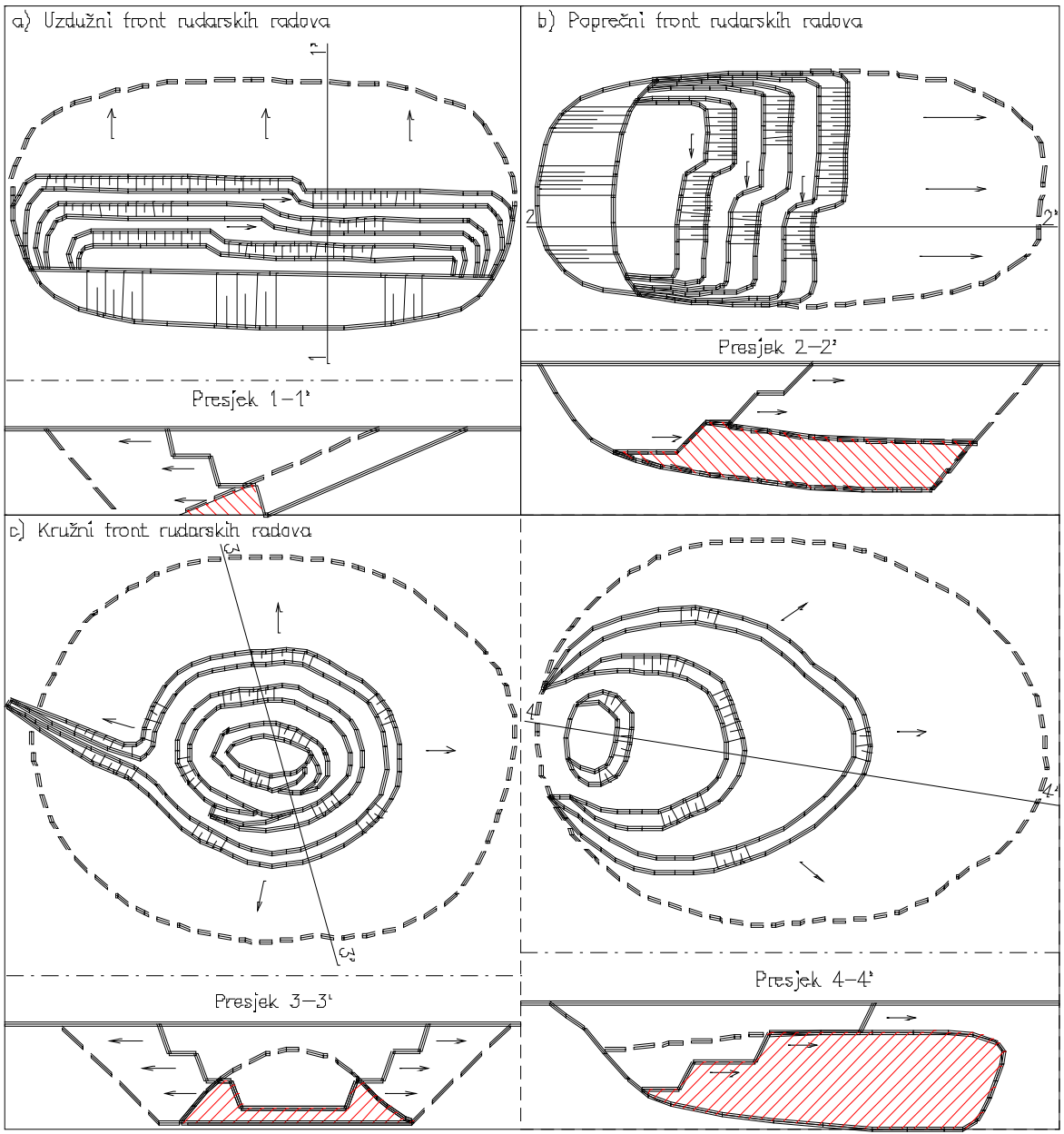
Razvoj rudarskih radova je dinamički usklađen razvoj geometrijskih (projektnih) parametara površinskog kopa koji se sastoji od:

- **fronta rudarskih radova** (to su geometrijski elementi površinskog kopa: etažne ravnine, kosine, prilazne ceste, usjeci, zasjeci i sl.).
- **smjera razvoja rudarskih radova** (to je prostorni pomak geometrijskih elemenata površinskog kopa i intenzitet pomaka fronte rudarskih radova); smjer razvoja je, u pravilu okomit na frontu rudarskih radova.

8.2.1.6.1. Front rudarskih radova

Front rudarskih radova može se podijeliti na:

- **uzdužnu frontu**, koja je smještena na pravcu duže osi površinskog kopa, čije su značajke: velika širina a mala brzina napredovanja s mogućnošću postizanja velikih kapaciteta, a nedostatak joj je velika investicijska otkrivka (slika 8.2.13a).
- **poprečnu frontu**, smještenu na pravcu kraće osi površinskog kopa, čije su značajke: velika brzina i mala širina napredovanja s ograničenom mogućnošću povećanja kapaciteta, ali i manja investicijska otkrivka (8.2.13b).
- **kružnu frontu**, koja traži malu investicijsku otkrivku, omogućava brže produbljivanje i znakovita je za debela rudna tijela (8.2.13c).



Slika 8.2.13 Položaj fronta i napredak rudarskih radova

8.2.1.6.2. Smjer razvoja rudarskih radova na površinskom kopu

Osnovni kriterij za određivanje smjera razvoja rudarskih radova na površinskom kopu je maksimalna dobit (profit) od eksploatacije ležišta, a sastoji se od:

- troškova eksploatacije
- vremena
- kvalitete mineralne sirovine
- intenziteta eksploatacije
- prodajne cijene mineralne sirovine.

8.2.1.6.2. Smjer razvoja rudarskih radova na površinskom kopu

Osnovni kriterij za određivanje smjera razvoja rudarskih radova na površinskom kopu je maksimalna dobit (profit) od eksploatacije ležišta, a sastoji se od:

- troškova eksploatacije
- vremena
- kvalitete mineralne sirovine
- intenziteta eksploatacije
- prodajne cijene mineralne sirovine.

8.2.1.7. Odabir sustava eksploatacije površinskog kopa

Eksploatacijski sustav je određeni redoslijed izvođenja radova na otkrivci, mineralnoj sirovini i pomoćnim zahvatima koji osiguravaju zahtjevani kapacitet površinskog kopa i iskorištenje opreme.

8.2.1.7.1. Opće postavke i klasifikacija eksploatacijskih sustava

Eksploatacijski sustav obuhvaća izvođenje (redoslijed) radova na otkrivci, dobivanju mineralnih sirovina i pomoćne radove.

U eksploatacijskom sustavu dva su osnovna proizvodna procesa: eksploatacija otkrivke i eksploatacija mineralne sirovine, a sastoje se iz sljedećih osnovnih radnih procesa:

- dobivanja (rezanja – kopanja, miniranja, otapanja)
- transporta
- odlaganja (klasiranja – oplemenjivanja mineralnih sirovina)
- uređenja površina zahvaćenih eksploatacijom (sanacije, prenamjene).

Osim osnovnih radnih procesa, postoje i pomoćni:

- odvodnjavanje
- održavanje strojeva
- održavanje objekata
- opskrba pogonskom energijom.

U eksploatacijskom sustavu znakoviti su slijedeći parametri:

- broj i visina etaža
- kut nagiba radnih kosina
- dužina fronte radova
- širina radnih i transportnih površina.

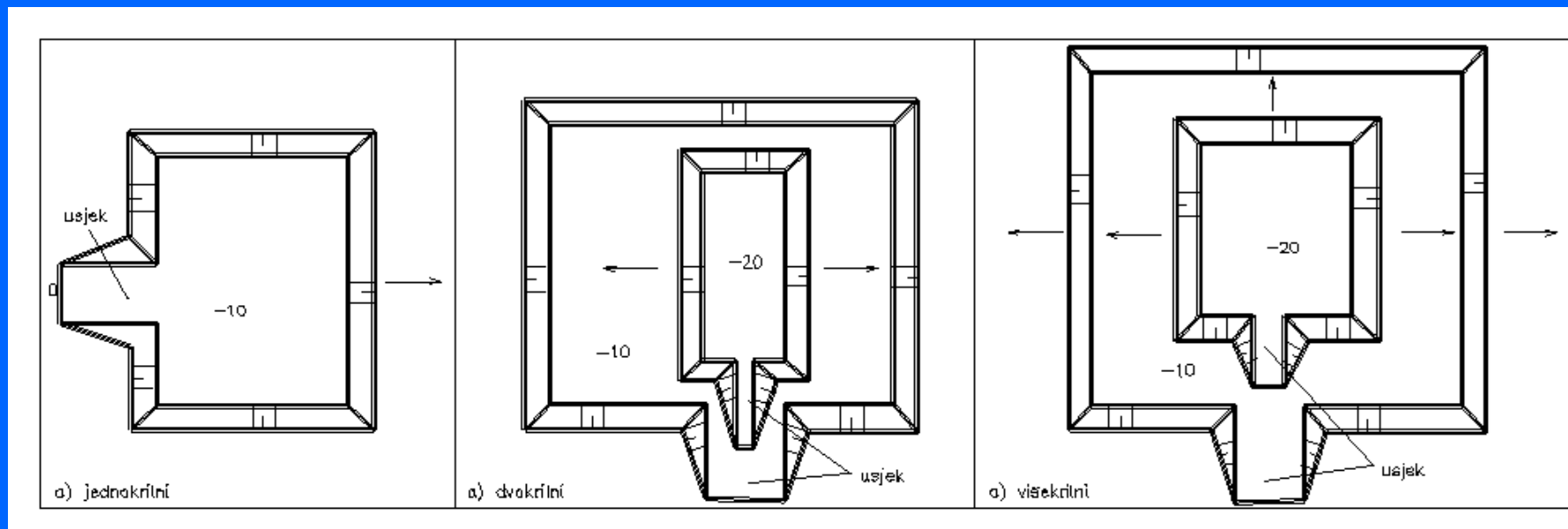
Osnovni elementi eksploatacijskog sustava jesu:

- radne etaže
- radne površine
- otkopni usjeci
- unutarnja odlagališta.

8.2.1.7.2. Utjecaj oblika ležišta i rudarsko-geoloških uvjeta na primjenu eksploatacijskog sustava

Uzdužni eksploatacijski sustav

Uzdužni sustav eksploatacije (slika 8.2.14) znakovit je za izdužena ležišta po jednoj osi, kada se eksploatacijski sustav uspostavlja uz dužu os.

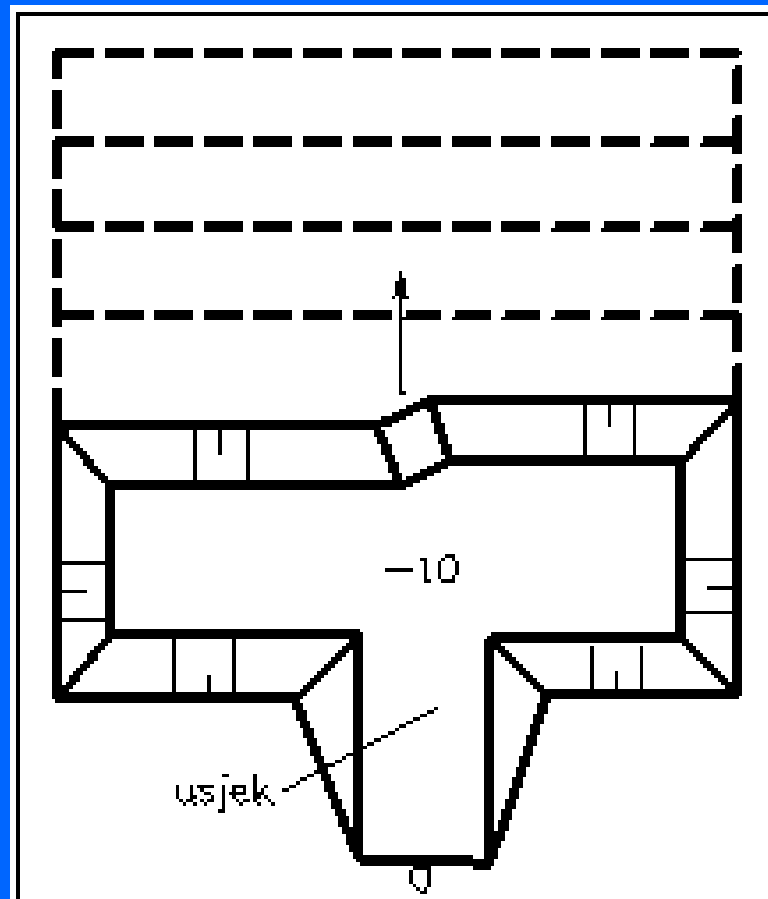


Slika 8.2.14 Uzdužni eksploatacijski sustav

Poprečni eksploatacijski sustav

Poprečni eksploatacijski sustav primjenjuje se u situaciji kada uzdužni sustav eksploatacije postaje neracionalan, velika investicijska otkrivka, relativno kratko razdoblje eksploatacije (slika 8.2.15).

Poprečni eksploatacijski sustav uspostavlja se uz kraću os ležišta s usporednim napredovanjem otkopne fronte.

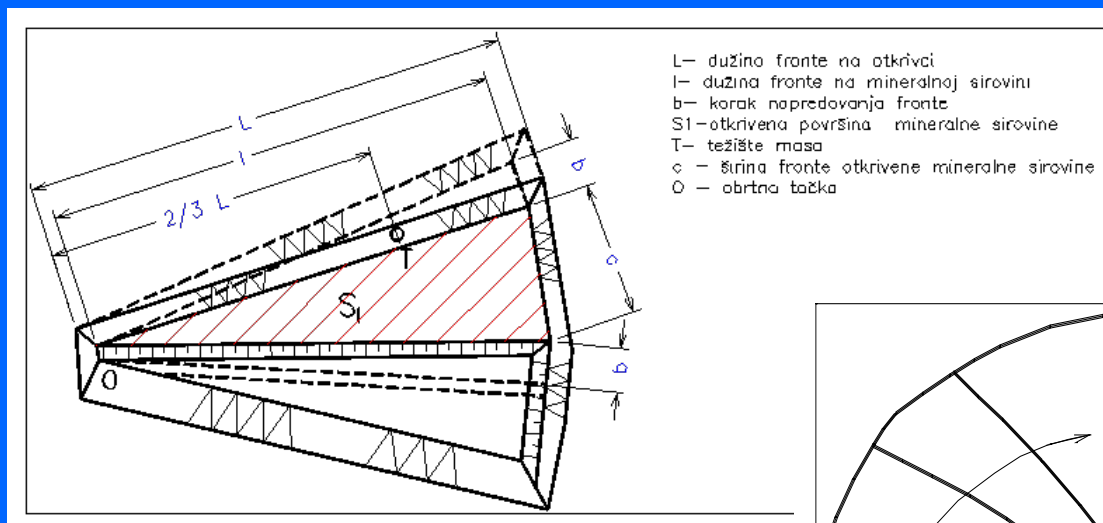


Slika 8.2.15 Poprečni eksploatacijski sustav

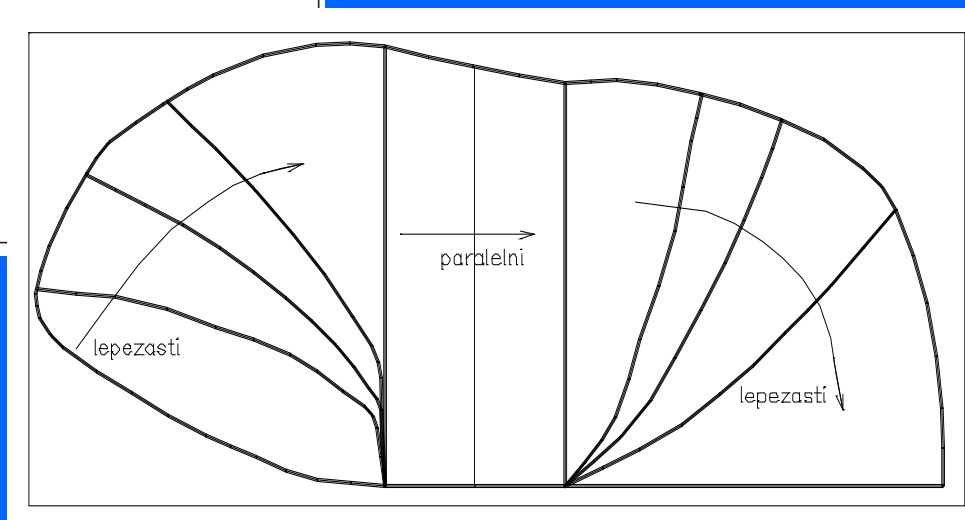
Lepezasti i kružni eksploatacijski sustav

Lepezasti eksploatacijski sustav uspješno se primjenjuje kod okruglog ili trokutnog oblika ležišta, kad se može locirati stalna obrtna točka (slika 8.2.16). Pogodan je za željeznički transport i rad s bagerima vjedričarima.

Kružni eksploatacijski sustav može se primijeniti kada je najmanja debljina otkrivke ili najbolja kvaliteta mineralne sirovine u sredini ležišta.



Slika 8.2.16 Lepezasti eksploatacijski sustav



Slika 8.2.17 Kombinirani sustav eksploatacije (lepezasti + paralelni + lepezasti)