

miniranja. Ta vrsta zaštite ne sprečava klizanje kosine po postojećim diskontinuitetima.

Miniranjem i potresima nastaju vibracije koje mogu utjecati na stabilnost kosina, ali se na veličinu vibracija može utjecati količinom i načinom paljenja eksploziva. Iz iskustva se zna da pri brzini gibanja čestica od 0,6 m/s stijene pucaju, a pri brzinama većim od 2,5 m/s stijene se na kosinama i padinama ruše.

Primjena sidrenja pri gradnji prometnica i drugih inženjerskih objekata u brdovitim terenima često je jedino racionalno rješenje za osiguranje stabilnosti kosina. Pri površinskoj eksploataciji mogu se postići znatni ekonomski efekti povećanjem kuta završnih kosina kopa primjenom sidara. Utjecaj sidara na klizanje po ravnoj plohi definiran je jednadžbom (17). Na osnovi te jednadžbe najpogodniji kut nagiba sidra prema kliznoj plohi jednak je kutu unutrašnjeg trenja.

U praksi se upotrebljavaju različite konstrukcije sidara s prednaprežanjem ili bez njega. Teorijski temelji djelovanja sidra nisu u potpunosti razjašnjeni. Djelovanje kohezije, trenja, podzemne vode i sila zatezanja sidra nije sinkrono i nije određeno s jednakom preciznošću. Zato treba uzeti u obzir i različite faktore sigurnosti, pa jednadžba (17) ima oblik:

$$GF_1 \sin \beta + u_2 F_2 \cos \beta - A \sin \gamma = \frac{P_c}{F_3} + (GF_1 \cos \beta - u_1 F_4 - u_2 F_4 \sin \beta + A \cos \gamma) \frac{\tan \varphi}{F_2}, \quad (18)$$

gdje su $F_1 \dots F_4$ faktori sigurnosti za težinu, kut unutrašnjeg trenja, koheziju i tlak vode. Pritom je obično, s obzirom na preciznost utvrđivanja pojedinih podataka, $F_4 \geq F_3 \geq F_2 \geq F_1 \geq 1$.

Iz jednadžbe (18) može se dobiti izraz za potrebnu silu sidra po duljini kosine

$$A = \frac{GF_1 \left(\sin \beta - \cos \beta \frac{\tan \varphi}{F_2} \right)}{\sin \gamma - \cos \gamma \frac{\tan \varphi}{F_2}} + \frac{u_2 F_4 \cos \beta + (u_1 + u_2 \sin \beta) \frac{F_4}{F_2} \tan \varphi - \frac{P_c}{F_3}}{\sin \gamma - \cos \gamma \frac{\tan \varphi}{F_2}}, \quad (19)$$

Ukupna potrebna sila sidrenja dijeli se na pojedinačna sidra na kosini. Sidrenje mora biti provedeno dosta duboko iza klizne plohe, da se ne bi stvorila nova klizna ploha.

Dreniranje kosina. Voda unutar diskontinuiteta smanjuje normalno naprezanje na plohi, a tako i čvrstoću smicanja. Uz to voda u vlačnim pukotinama povećava silu smicanja niz kosinu. Taj utjecaj može biti velik i opravdava kontrolu vodenog lica te utvrđivanje pornog tlaka u diskontinuitetima. Osim toga zimi, pri temperaturama nižim od 0 °C, može se porni tlak povećati zbog stvaranja ledene barijere na kosini. Kosina se drenira bušenjem blago nagnutih bušotina pri dnu kosine. Ponekad se uspješno primjenjuju horizontalni rovovi za odvodnjavanje, a ponekad u kombinaciji s bušenjem. Vertikalni bušeni bunari primjenjuju se samo kad ima mnogo vode u kosini.

Osobito je važno sprečavanje dotjecanja vode u slivnom području površinskih kopova. Odvođenje vode iz područja kopa može se osigurati izradbom kanala izvan dometa mogućih vlačnih pukotina. Ako, međutim, nastanu takve pukotine, one se ispunjavaju glinom, kako bi se spriječilo da se voda slijeva u njih u većim količinama.

Promjena kuta nagiba jedna je od mogućnosti stabilizacije kosine. Ta promjena ovisi o raspoloživom vremenu, tehničkim mogućnostima i financijskim efektima. Ako se masa na kosini već pokrenula, što se može zapaziti snimanjem ili po pojavi vlačnih pukotina, u praksi se često rasterećuje kosina

skidanjem dijela mase s kosine, pa se tako zapravo mijenja kut nagiba kosine, da bi se usporilo ili zaustavilo kretanje mase.

Konačno, u eksploataciji mineralnih sirovina stalni problemi sa stabilnošću radnih etaža vrlo se često mogu riješiti pogodnim okretanjem etaža s obzirom na smjer pada diskontinuiteta.

LIT.: J. Sinclair, Ground Movement and Control at Collieries. Pittman, London 1963. – L. Obert, W. J. Duvall, Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock. J. Wiley and Sons, New York 1967. – H. Kastner, Statik des Tunnel- und Stollenbaues. Springer-Verlag, Berlin 1971. – F. G. Bell, Site Investigations in Areas of Mining Subsidence. Newnes-Butterworths, London 1975. – J. C. Jaeger, N. G. W. Cook, Fundamentals of Rock Mechanics. Chapman and Hall, London 1976. – E. Hoek, J. Bray, Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, London 1977. – A. Jummikis, Rock Mechanics, Trans Tech. S. A. CH-4711, Aedermannsdorf 1979.

S. Vujec

RUDARSTVO, OTKOPAVANJE MINERALNIH SIROVINA, eksploatacija nalazišta mineralnih sirovina.

Način eksploatacije zavisi od položaja nalazišta u Zemljinoj kori, pa se razlikuju površinsko i podzemno otkopavanje. Površinsko se otkopavanje provodi površinskim kopovima, a podzemno otkopavanje zavisi od slojevitosti nalazišta, pa se razlikuju metode otkopavanja neslojevitih i slojevitih nalazišta.

POVRŠINSKI KOP

Površinski kop, tehnički objekt i sistem rudarskih radova i mašina kojima se mineralne sirovine površinski eksploatišu otkrivanjem i dobivanjem kao dvama međuzavisnim proizvodnim procesima, odnosno podsistemima.

Površinska eksploatacija mineralnih sirovina, iako poznata od prvih dana rudarenja, širu primjenu dobiva tek u XX. vijeku zahvaljujući usavršavanju parne mašine, otkriću motora s unutrašnjim sagorijevanjem i motora naizmjenične struje.

Osnovni je kriterijum za ocjenu tehničke i ekonomske opravdanosti otvaranja i eksploatacije površinskog kopa omjer između količine otkrivke i količine korisne sirovine, tzv. *koeficijent otkrivke*. Taj koeficijent treba da bude što manji, ali zahvaljujući efikasnosti modernih sredstava za otkopavanje, u prvom redu rotornih bagera (v. *Bagerovanje*, TE 1, str. 639), danas dostiže vrijednost od 10 pa i više. Tako proizvodni kapaciteti najvećih svjetskih površinskih kopova, naročito pri eksploataciji uglja, iznose već i 50 · 10⁶ t/god. korisne sirovine uz 300 · 10⁶ t/god. otkrivke.

Takav je razvoj postignut u relativno kratkom vremenu od devedesetak godina, tj. od kraja prošlog vijeka. Tada se u prvim nemehanizovanim površinskim kopovima, s konjskom vučom, postizavala maksimalna proizvodnja od 800 · 10³...900 · 10³ t/god. iz kopova na dubini do 3 m. To je otprilike i dubina postignuta u mlade kameno doba, u jednom od najstarijih poznatih površinskih kopova, rudniku kremenja kresivca u Maueru kod Beča; tamo se kopalo do dubine od 2,5 m.

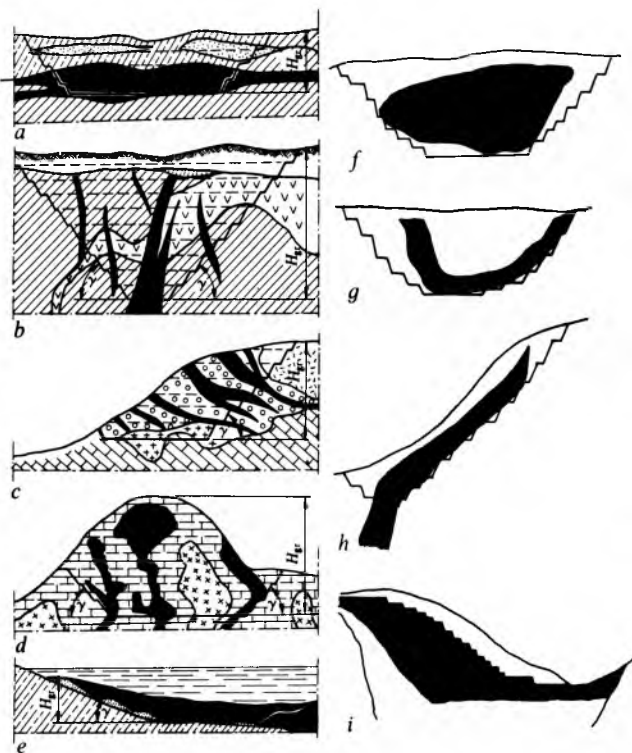
Od početka našeg vijeka do sredine dvadesetih godina upotrebljavali su se parni bageri, a za transport parne lokomotive. Prvi bageri vadičari uvode se sredinom dvadesetih godina, pa se postižu i učinci do 15 t uglja po nadnici. Dubine još ne premašuju 120 m. One dostižu 300 m u periodu između polovine pedesetih i sedamdesetih godina našeg vijeka. Maksimalni kapaciteti na površinskim kopovima uglja penju se na 30 · 10⁶ t/god., uz učinke od 75 t po nadnici.

Od 1975. traje najnoviji period, s primjenom rotornih bagera kapaciteta i do 240 · 10³ t/d koji omogućuju učinke od 125 t uglja po nadnici. Radi se već i na dubinama od 300...400 m, a predviđaju se dubine i do 800 m.

Računa se da se danas oko 3/4 ukupne svjetske proizvodnje mineralnih sirovina dobiva površinskim kopovima s tendencijom porasta.

Klasifikacija površinskih kopova. Površinski kopovi mogu se klasifikovati prema različitim kriterijumima, npr. prema vrsti i kvalitetu sirovine, obliku, položaju, padu, debljini i mineraloškoj strukturi (homogenosti) ležišta, reljefu površine, dominantnim stijenama. Kako je raznolikost ležišta mineralnih sirovina veoma velika, svako od njih ima svoje karakteri-

stike, pa je tehnički cjelishodna samo podjela prema nekim osnovnim značajkama. To može biti podjela prema *reljefu terena* i prema *padu ležišta*. S obzirom na reljef terena, površinski kopovi mogu biti plitki, dubinski, visinski, visinsko-dubinski i podvodni (sl. 1), a prema padu ležišta horizontalni, kosi i strmi (sl. 2).



Sl. 1. Tipovi ležišta i površinskih kopova. a plitko horizontalno, b dubinsko, c visinsko, d visinsko-dubinsko, e podvodno, f štok, g sinklinalno, h visinsko-dubinsko strmo, i visinsko

Plitki površinski kopovi. Takvim se kopovima uglavnom otkopavaju ležišta horizontalnog zalijeganja (sl. 1a). Takva je većina kopova pijeska, šljunka i ostalog građevnog materijala (nanosa; v. *Aluvijalna rudna nalazišta*, TE 1, str. 247). Dubina je tih kopova dosta malena, 40...60 m. Od svih tipova, plitki su površinski kopovi najekonomičniji. Obično se otkopava puna debljina korisne sirovine, a u otkopanom se prostoru formira unutrašnje odlagalište otkrivke.

Dubinski površinski kopovi. Takvim se kopovima uglavnom otkopavaju ležišta kosog i strmog zalijeganja (sl. 1b, 1f i 1g). To mogu biti ležišta ruda metala, nemetala i uglja. To su kopovi koji se postepeno produbljavaju i mogu dostići dubinu i do 800 m. Dubinski su površinski kopovi najkomplikovaniji i za projektovanje i za eksploataciju. Sve mase otkrivke i korisne sirovine moraju se izvoziti na razinu površine i najčešće se odlažu na vanjska odlagališta. Produbljavanje i otvaranje novih etaža mora se kontinuirano provoditi sve do postizanja granične dubine.

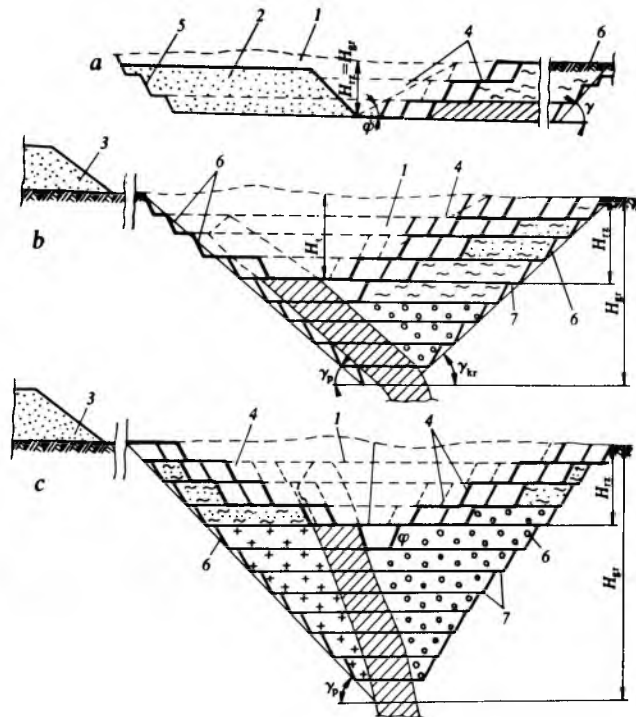
Visinski površinski kopovi. To su obično kopovi ruda metala i nemetala (najčešće ukrasnog i tehničkog kamena), ponekad uglja i minerala za hemijsku industriju (sl. 1c i 1i). Dimenzije i broj etaža variraju u širokim granicama. Karakteristika im je da se otkrivka i korisna sirovina spuštaju transportnim sredstvima na vanjska odlagališta. Moguća je upotreba gravitacijskog transporta.

Visinsko-dubinski površinski kopovi (sl. 1d i donekle 1h i 1i) razvijaju se na ležištima sa složenim topografskim uslovima. Ležište može pratiti reljef ili biti suprotno reljefu. Od položaja ležišta prema reljefu zavise dimenzije kopa i vrsta transportnih sredstava.

Podvodni površinski kopovi. Takvim se kopovima eksploatišu ležišta pod vodom, tj. na dnu mora, jezera, rijeka i sl. (sl. 1e). I tu se najčešće radi o aluvijalnim sedimentima,

mahom s neznatnom otkrivkom. Eksploatišu se plovnim bagerima (v. *Bagerovanje*, TE 1, str. 646).

Ugao pada ili nagiba ležišta važan je element i u zasnivanju i u eksploataciji površinskog kopa. Najjednostavniji su površinski kopovi na horizontalnim ili blago nagnutim ležištima, koja se ubrajaju u taj tip kad ugao nagiba nije veći od 8...10° (sl. 2a). Često su to mali kopovi s nevelikim rezervama korisne sirovine, ali ekonomični baš zbog mogućnosti površinske eksploatacije. Najveći su evropski površinski kopovi uglja u Rajnskom području (SR Njemačka), gdje se primjenjuju gigantski bageri, na horizontalnim ili blago nagnutim ležištima.



Sl. 2. Principijelne sheme površinske eksploatacije ležišta. a horizontalno ležište, b koso ležište, c strmo ležište; 1 otkopni prostor, 2 unutrašnje odlagalište otkrivke, 3 vanjsko odlagalište otkrivke, 4 radna kosina površinskog kopa, 5 završna kosina površinskog kopa, 6 završna kontura površinskog kopa, 7 berme

Kosa ležišta (sl. 2b) imaju ugao pada između 8...10° i 35...40°. Pri eksploataciji takvih ležišta obično nije potrebna podinska otkrivka jer kontakt između rudnog tijela i podine predstavlja drugu završnu kosinu površinskog kopa.

U strma ležišta (sl. 2c) uvrštavaju se ona s uglom nagiba većim od 35...40°. Tada se mora formirati završna kosina površinskog kopa u podini, pa su zato i radovi na podinskoj otkrivci znatni.

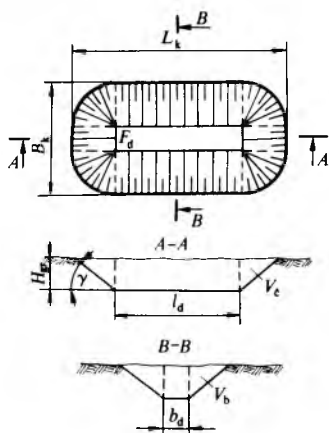
Dimenzije i oblik površinskog kopa zavise od dimenzija i zalijeganja ležišta, reljefa terena, geomehaničkih svojstava stijena i dr. Dimenzije površinskog kopa i njegova dubina (visina u brdskim površinskim kopovima) diktiraju ukupne rudarske radove i mogući proizvodni kapacitet.

Granična dubina (H_{gr}) za plitke površinske kopove određena je prirodnim uslovima i obično se neznatno mijenja za cijeli vijek rada. Granična se dubina visinskih, dubinskih i visinsko-dubinskih površinskih kopova određuje tokom projektovanja.

Dimenzije dna površinskog kopa (l_d , b_d) dobijaju se kao rezultat ograničavanja (okonturivanja) dijela ležišta na graničnoj dubini za površinsku eksploataciju (sl. 3). Minimalne dimenzije dna površinskog kopa (dna radne zone) treba da obezbijede sigurno kopanje i utovar na najnižoj etaži ($b_d \geq 30$ m; $l_d \geq 100$ m).

Uglovi završnih kosina površinskog kopa određuju se iz uslova stabilnosti i mogućnosti smještaja transportnih komunikacija.

Dimenzije površinskog kopa na površini terena (L_k , B_k) (sl. 3) uslovljene su dimenzijama ležišta i dna površinskog kopa, dubinom i uglovima njegovih završnih kosina, topografskim i hidrografskim faktorima. Na velikim ležištima te se dimenzije određuju iz uslova otvaranja i podjele ležišta na više površinskih kopova (ili revira).



Sl. 3. Dimenzije površinskog kopa

Parametri površinskog kopa treba da obezbijede efikasnu upotrebu mehanizacije. Dužina površinskog kopa (revira, otkopnog polja) mora odgovarati projektovanom kapacitetu, odnosno obezbjeđivati ukupnu dužinu potrebnog fronta radova prema izrazu

$$L_{ksr} = \frac{L_k + l_d}{2} = \frac{f N_b L_b}{n_c}, \quad (1)$$

gdje je L_{ksr} prosječna dužina površinskog kopa, f koeficijent rezerve otkopa, N_b broj bagera u radu, L_b dužina bagerskog bloka, a n_c broj radnih etaža.

Povećanje dužine površinskog kopa traži povećanje okonturenih rezervi, pa zbog toga i mogućnost povećanja proizvodnog kapaciteta. Takođe se s povećanjem dužine površinskog kopa smanjuje specifičan udio otkrivke iz čelnih kosina, što utiče na smanjenje koeficijenta otkrivke, pa i na ukupnu ekonomičnost. Na ravničarskom reljefu zapremine bočnih (V_b) i čelnih (V_e) kosina površinskog kopa (sl. 3) računaju se prema formulama:

$$V_b = H_{gr}^2 l_d \cot \gamma_{sr}, \quad (2)$$

$$V_e = H_{gr}^2 b_d \cot \gamma_{sr} + \frac{\pi}{3} H_{gr}^3 \cot^2 \gamma_{sr}, \quad (3)$$

gdje je γ_{sr} prosječni ugao završnih kosina površinskog kopa.

Velika dužina površinskog kopa povećava transportne dužine i troškove transporta, povećava investicijsku otkrivku i sl., zbog čega se smanjuje ukupna ekonomičnost. Zato za izdužena ležišta treba odrediti optimalnu dužinu površinskog kopa i formirati nekoliko površinskih kopova.

Dužina površinskog kopa iznosi 100...5000 m, a širina, već prema tipu ležišta i površinskog kopa, može biti 4...5 km. U praksi se najčešće sreću dužine većih površinskih kopova od 2...2,5 km, što je uglavnom uslovljeno transportom i smještajem otkrivke po unutrašnjim i vanjskim odlagalištima.

Ukupne mase površinskog kopa (V_k) predodređuju njegov kapacitet i trajanje eksploatacije. U ravničarskom reljefu terena zapremine ukupnih masa (sl. 3) dovoljno se tačno određuju prema formuli

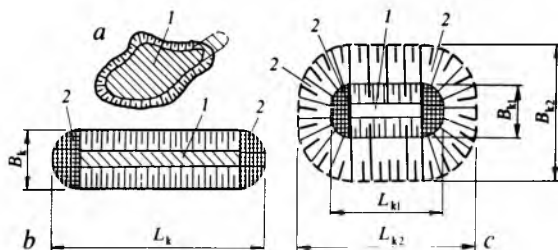
$$V_k = F_d H_{gr} + \frac{1}{2} O_d H_{gr}^2 \cot \gamma_{sr} + \frac{\pi}{3} H_{gr}^3 \cot^2 \gamma_{sr}, \quad (4)$$

gdje je F_d površina dna površinskog kopa, a O_d opseg dna površinskog kopa. Površina dna površinskog kopa približno se računa prema formuli

$$F_d = k l_k b_k, \quad (5)$$

gdje je k koeficijent oblika površinskog kopa ($k=0,75$ do $0,90$). Prema obliku i dimenzijama razlikuju se prostrani, izduženi i okrugli površinski kopovi (sl. 4).

Prostrani površinski kopovi (sl. 4a) najčešće su plitki ($H_{gr} \leq 100$ m), a velikih i približno jednakih horizontalnih dimenzija ($L_k \approx B_k$, površina $10 \dots 40$ km²).



Sl. 4. Oblik površinskih kopova, a prostrani, b izduženi, c okrugli; 1 dno kopa, 2 čelni dijelovi izduženih i okruglih površinskih kopova

Izduženi površinski kopovi (sl. 4b) imaju nekoliko puta veću dužinu ($L_k \geq 3 \dots 5$ km) od širine B_k ($L_k/B_k \geq 4$). Takvi su površinski kopovi obično i dubinski ($H_{gr} \geq 150 \dots 200$ m) na kosim i strmim ležištima. Tipični su predstavnici niz površinskih kopova koji se projektuju uzduž izdankačke zone izduženih ležišta uglja (tada se optimizuje njihova dužina L_k).

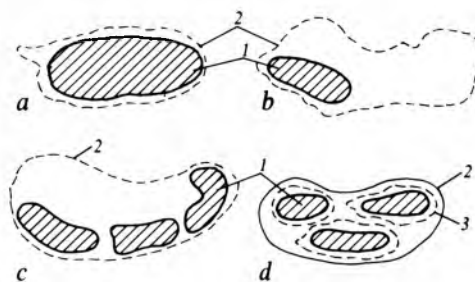
Okrugli površinski kopovi (sl. 4c) tipični su za strma rudna tijela metalnih ruda i dostižu dubinu od 200...800 m. Za te dubine dobiva se okrugli ili ovalni oblik površinskog kopa nezavisno od oblika njegova dna.

Tokom eksploatacije povećava se površina i dužina dubinskog površinskog kopa; pri tome se brže povećava širina površinskog kopa nego njegova dužina, pa se omjer L_k/B_k stalno smanjuje, da bi postepeno dobivao okrugli oblik, čak i u slojevitim ležištima.

Broj površinskih kopova. Svako ležište, već prema svojim dimenzijama, može se eksploatirati kao jedan ili se može podijeliti na više površinskih kopova, a površinski kop na revire ili otkopna polja.

Jedan površinski kop na ležištu (sl. 5a i 5b) karakterističan je za manja ležišta u okviru maksimalnih dimenzija površinskog kopa ($L_k \leq 5$ km, $B_k \leq 4$ km, $H_{gr} \leq 500$ m).

Vije površinskih kopova na ležištu karakteristično je za veća ležišta, a mogu se eksploatirati jedan za drugim ili istovremeno (sl. 5c).



Sl. 5. Površinski kopovi na jednom ležištu. 1 kontura ležišta ili kopa, 2 kontura ležišta, 3 kontura otkopnog polja

To se često pojavljuje na izduženim ležištima uglja, gdje je potrebno optimirati dužine površinskog kopa s obzirom na transport, smještaj otkrivke na odlagališta i sl. u skladu s dugoročnim programom razvoja rudnika. Četiri jugoslovenska velika ugljena basena (Kosovo, Kolubara, Kreka, Kostolac) spadaju u tu grupu površinskih kopova.

Vije otkopnih polja u jednom površinskom kopu (sl. 5d) karakteristični su za tektonski poremećene dijelove ugljenog sloja (Banovići, Ugljevik), ili kad postoje posebna rudna tijela u ležištu (Omarska). Razdvojenost dijelova ugljenog sloja ili rudnih tijela diktira proračun graničnih dubina i posebno okonturenje svakog dijela, a dovoljna bliskost zajednički rad i ujednačavanje eksploatacijskog koeficijenta otkrivke, odnosno kvaliteta rude, te smještaja otkrivke i

Tablica 1
KLASIFIKACIJA POVRŠINSKIH KOPOVA PREMA DIMENZIJAMA

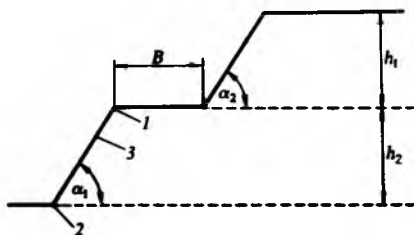
Tip površinskog kopa	Tip površinskog kopa prema položaju na terenu	Površina površinskog kopa km^2	Granična dubina površinskog kopa m	Ukupni volumen iskopanog materijala 10^6 m^3	Trajanje eksploatacije godina
Vrlo malen	Plitki Brdski	do 0,4 do 0,3	do 20 do 40	do 10	do 10
Malen	Plitki Brdski i dubinski	0,4...2,0 0,3...1,5	do 40 40...100	10...100	10...25
Srednji	Plitki Brdski i dubinski	2,5...6 1,5...5	do 60 100...200	100...500	25...30
Velik	Plitki Brdski i dubinski	4...20 4...12	do 80 100...250	500...2000	30...60
Vrlo velik	Plitki Dubinski	10...40 10...30	do 120 200...800	2000...10000	60...100

zajedničke transportne komunikacije. Klasifikacija površinskih kopova prema dimenzijama vidi se u tabl. 1.

Elementi i parametri površinskog kopa

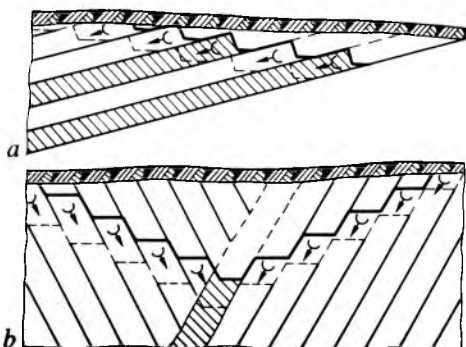
Površinski kop karakterizovan je visinom etaža i podjelom kopa po visini, širinom radnih površina po etažama, frontom rudarskih radova, koeficijentima otkrivke i graničnom dubinom površinskog kopa.

Visina etaže i podjela površinskog kopa po visini. Etaža površinskog kopa dio je ležišta ili otkrivke ograničen dvjema horizontalnim ravnima ili nagnutom ravni u pogodnim granicama. Vertikalni razmak između dviju ravni naziva se visinom etaže. Ležište se otkriva i dobivaju se etaže kojima visina zavisi od vrste i kapaciteta primijenjene mehanizacije, vrste i fizikalno-mehaničkih svojstava stijenskog materijala, prisustva i količine površinskih i podzemnih voda, načina zalijeganja ležišta, potrebe za selektivnim radom i drugih faktora. Elementi su etaže: visina, ugao nagiba, etažna ravan, ivica i nožica etaže (sl. 6).



Sl. 6. Etaža površinskog kopa. B etažna ravan, h_1 , h_2 etažne visine, α_1 , α_2 uglovi etažnih kosina, 1 ivica etaže, 2 nožica etaže, 3 kosina etaže

Glavni su faktori koji utiču na visinu etaže: geološke karakteristike ležišta, izabrani sistem eksploatacije i radnih parametara otkopno-utovarne mehanizacije. Važne su geološke karakteristike: geomehanička svojstva mineralne sirovine i otkrivke, nagib sloja mineralne sirovine, promjene dubine i debljine eksploatisanog sloja te oblik i dimenzije eksploata-



Sl. 7. Kose (a) i strme (b) etaže

cijskog polja. Na sistem eksploatacije utiče razvoj radnog fronta jer su visina i broj etaža funkcija paralelnog ili lepezastog pomjeranja fronta radova.

Zavisno od sistema eksploatacije, etaže mogu biti i kose, obično po uslojenju (sl. 7a). Dosta rijetko (za sada samo na površinskim kopovima ukrasnog kamena) sreću se i strme etaže (sl. 7b).

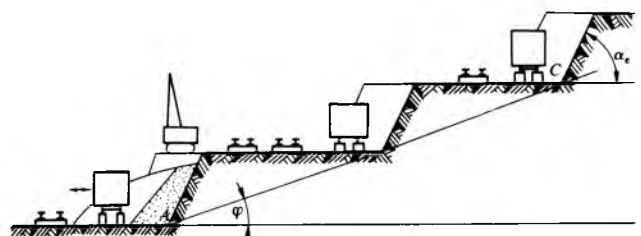
Visina etaže neposredno utiče na kvalitet mineralne sirovine, brzinu napredovanja fronta i produbljenja površinskog kopa, pa prema tome i na kapacitet površinskog kopa, vrijeme gradnje, zapreminu investicijske otkrivke, ukupnu dužinu fronta radova i transportnih komunikacija, te na ugao radne i završne kosine površinskog kopa.

Racionalna visina etaže ne ovisi samo o jednom faktoru, a svi se faktori ne mogu obuhvatiti nekim analitičkim izrazom. Zbog toga preostaje da se visina etaže određuje na osnovu svih uticajnih faktora u svakom konkretnom slučaju.

Visina etaže na kosim i strmim ležištima s čvrstim stijenama uglavnom se određuje na osnovu tehnološkog procesa, gubitaka i osiromašenja, te kapaciteta površinskog kopa. S povećanjem visine etaže smanjuju se troškovi bušenja, miniranja, bagerovanja i transporta.

Težnja za smanjenjem broja etaža (za povećanjem njene visine) bila je i ostaje jedan od osnovnih tehničkih pravaca usavršavanja površinske eksploatacije. Veliki je napredak ostvaren primjenom kontinuirane površinske eksploatacije, kad se mogu rotornim bagerima relativno male dohvatne visine (do 20 m), uz pomoć samohodne pretovarne trake i podjelom na međuetaze, postići visine etaža od 50...60 m. Tako se bitno štedi na investicijama i troškovima transporta, postiže koncentracija radova, uprošćuje organizacija i mehanizacija.

Širina radnih površina na etažama bira se tako da se osiguraju normalna širina transportnih komunikacija, mjesto za smještaj i manipulaciju osnovnih i pomoćnih mašina, potrebna (sigurnosna) udaljenost do ivice etažnih kosina, odnosno do obrušenog materijala od miniranja. Pri projektovanju teži se minimalnoj širini radnih površina na etažama jer uglavnom od nje zavisi ugao radne kosine površinskog kopa. Radna je kosina površinskog kopa ravan povučena kroz donje ivice radnih etaža (linija AC na sl. 8). Što je manja širina radne površine, to je veći ugao radne kosine φ , a to znači i bolji režim rudarskih radova, manja investicijska



Sl. 8. Radna kosina površinskog kopa

otkrivka i dr. Širina radnih površina u savremenim kopovima iznosi od 25...35 do 100...130 m, odakle proizlazi da ugao φ iznosi između 5 i 20°, najčešće 10...12°.

Front rudarskih radova. Napredovanje otkopnog fronta uslovljeno je rasporedom kopanja, utovara i transporta, što je pretpostavljeno pri projektovanju. Taj raspored ovisi o položaju kopa i njegovoj strukturi, pravcu premještanja stijenskih masa, načinu utovara tih masa, broju i položaju transportnih izlaza te kretanju transportnih sredstava.

Na sl. 9 prikazani su neki karakteristični oblici radnog fronta. Prikazano je paralelno napredovanje fronta, jednom uzdužnog (sl. 9a) i drugi put poprečnog (sl. 9b) na pružanje rudnog tijela. Prednosti su *uzdužnog fronta*: mogućnost selektivnog dobivanja i stvaranja velikih otkrivenih rezervi sirovine te relativno lako prilagođavanje eksploatacije potrebama. Nedostatak je velika investicijska otkrivka potrebna za formiranje kopa, te mala brzina napredovanja koja iznosi 30...60 m/god. *Poprečni front* odlikuje se velikom brzinom napredovanja (60...500 m/god), ali su mogućnosti povećanja kapaciteta eksploatacije ograničene. Za poprečni front obično se upotrebljavaju nestacionarni transportni putevi. Dolazi u obzir za strma rudna tijela uz kamionski transport. Slika 9c prikazuje *kružni front* s radijalnim napredovanjem. Primjenjuje se na debela (moćna) rudna tijela, iziskuje malu investicijsku otkrivku i osigurava brzo produbljivanje kopa. Lepezasto napredovanje radnog fronta (sl. 9d) tipično je za kontinuiranu eksploataciju horizontalnih i blago nagnutih ležišta i za diskontinuiranu eksploataciju strmih i debelih

rudnih tijela. Obično se primjenjuje kad se cijela radna kosina nalazi u krovini ležišta. Prema strukturi eksploatiranih masa radni front može biti homogen i nehomogen. Sl. 9e prikazuje homogeni front s utovarom masa na nivou, a sl. 9f takav front s gornjim bagerskim prebacivanjem, gdje se za utovar moraju upotrijebiti dva bagera. Utovar masa na nivou utovarnog sredstva najčešća je i najekonomičnija shema, s najboljim iskorišćenjem radne zone. Gornje bagersko prebacivanje primjenjuje se za produbljivanje kopa i na brdskim terenima. Za kopanje i prebacivanje na gornju etažu služi jedan, a za utovar u transportno sredstvo drugi bager. U pogledu transportnih izlaza, najviše se primjenjuje pojedinačni front sa samo jednim izlazom za puna transportna sredstva smještenim na kraju fronta etaže (sl. 9g). Pri većoj dužini plićih kopova i na gornjim etažama velikih dubokih kopova upotrebljavaju se i dva, veoma rijetko tri izlaza za puna transportna sredstva.

Radna zona površinskog kopa. Kako u periodu gradnje, tako i u periodu eksploatacije površinskog kopa, uvijek se radi na nekoliko etaža. Svaka od njih ima radni i neradni front. Svaka je etaža odvojena od prethodne i sljedeće, bilo bermom sigurnosti, bilo transportnom bermom.

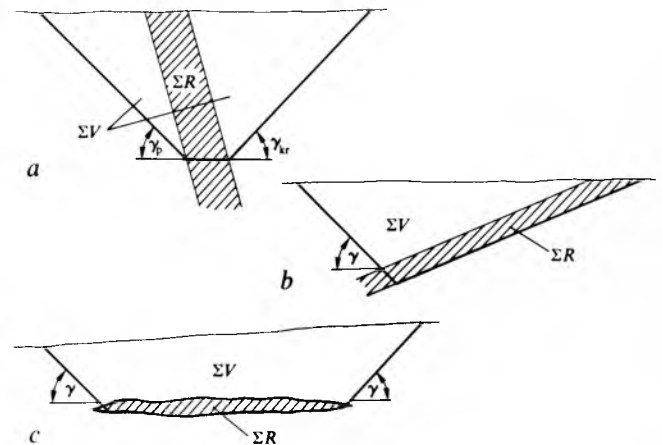
Između radnih frontova etaža nalaze se radne površine, kojima se dimenzije utvrđuju projektom površinskog kopa. Zona u kojoj se izvode rudarski radovi naziva se radnom zonom površinskog kopa.

Radna zona može obuhvaćati jednu, dvije ili sve četiri kosine površinskog kopa. Radna je zona putujuća površina promjenljivih dimenzija i prostorne konfiguracije, koja s vremenom mijenja položaj u površinskom kopu. U periodu gradnje, u radnu su zonu površinskog kopa uključene samo etaže otkrivke, a u periodu eksploatacije razlikuje se radna zona otkrivke, dobivanja i pripreme nove etaže. Broj otkopa otkrivke, dobivanja i pripreme nove etaže mora se u projektu površinskog kopa odabrati uz proračune kojima se dokazuje projektovani kapacitet površinskog kopa.

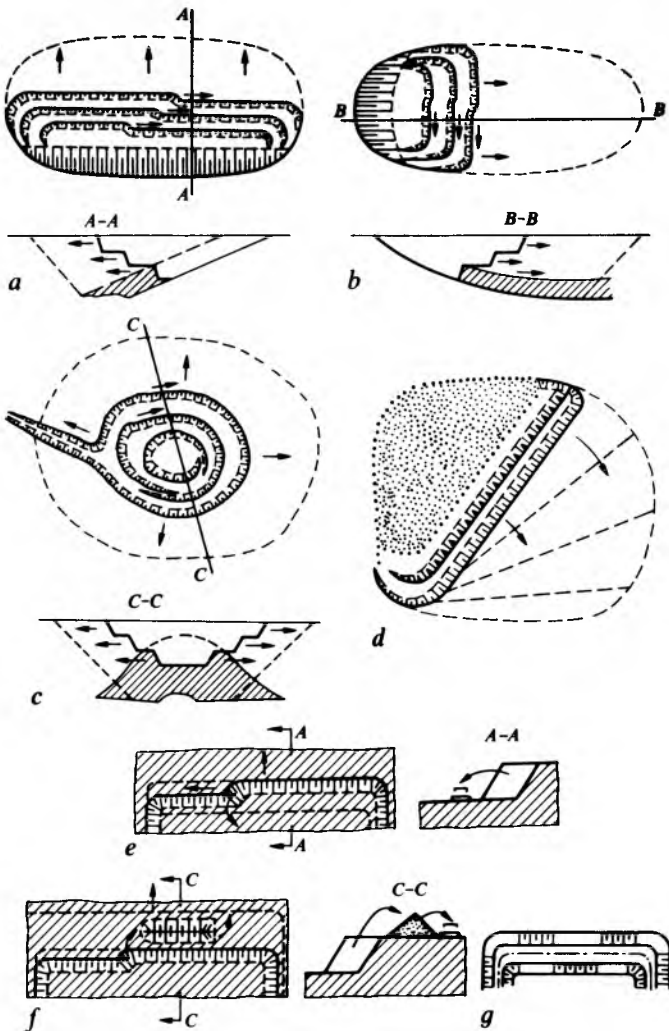
Koeficijenti otkrivke. Koeficijent je otkrivke omjer između zapremine ili mase otkrivke i zapremine ili mase mineralne sirovine. On pokazuje količinu otkrivke koju treba odstraniti da bi se dobila jedinica količine mineralne sirovine.

Koeficijenti otkrivke mogu se izražavati u zapreminskim jedinicama (m^3/m^3), što se najčešće upotrebljava u projektovanju, ili masenim jedinicama (t/t), što se najčešće upotrebljava u eksploataciji. Otkrivka na površinskim ugljenokopovima najčešće se izražava u m^3 , a ugalj u tonama, pa se i koeficijenti otkrivke izražavaju u m^3/t . Razlikuju se sljedeći koeficijenti otkrivke: granični, prosječni, diferencijalni, etažni (slojni), eksploatacijski (tekući), investicijski i geološki.

Granični koeficijent otkrivke (K_{gr}) osnovni je kriterijum efikasnosti površinske eksploatacije u toku projektovanja i predstavlja ekonomski parametar, za razliku od ostalih koeficijenata otkrivke koji su geometrijski parametri površinskog kopa.



Sl. 10. Uz određivanje prosječnog koeficijenta otkrivke. a strmo, b koso, c horizontalno ležište; ΣR mineralna sirovina, ΣV otkrivka

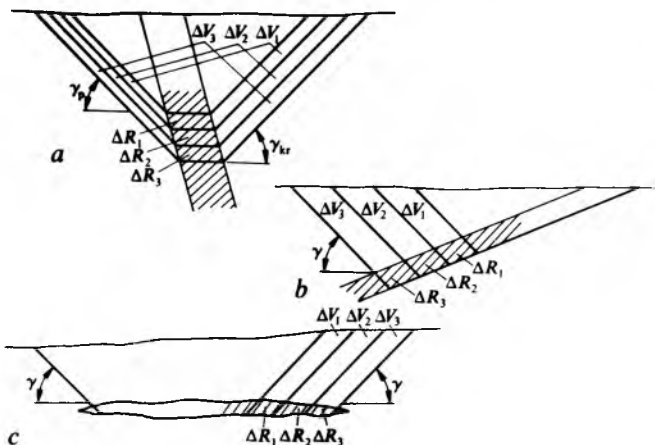


Sl. 9. Front rudarskih radova. a uzdužni front s paralelnim napredovanjem, b poprečni front s paralelnim napredovanjem, c kružni front s radijalnim napredovanjem, d lepezasto napredovanje fronta, e homogeni front s utovarom masa na nivou, f homogeni front s gornjim bagerskim prebacivanjem, g pojedinačni front s jednim izlazom

Prosječni koeficijent otkrivke (K_{pr}) omjer je ukupne zapremine (ΣV) ili mase otkrivke i ukupnih količina mineralne sirovine (ΣR) u ograničenom površinskom kopu (unutar završnih kosina površinskog kopa (sl. 10) i iznosi

$$K_{pr} = \frac{\Sigma V}{\Sigma R}, \quad (6)$$

Prosječni koeficijent otkrivke može se odrediti i za neki period od početka gradnje površinskog kopa. Prosječni je koeficijent otkrivke za bilo koji period rada od početka gradnje površinskog kopa zbir investicijskog K_0 i eksploatacijskog K_1 koeficijenta otkrivke ($K_{pr} = K_0 + K_1$).



Sl. 11. Uz određivanje diferencijalnog koeficijenta otkrivke. a strmo, b koso, c horizontalno ležište; ΔR mineralna sirovina, ΔV otkrivka

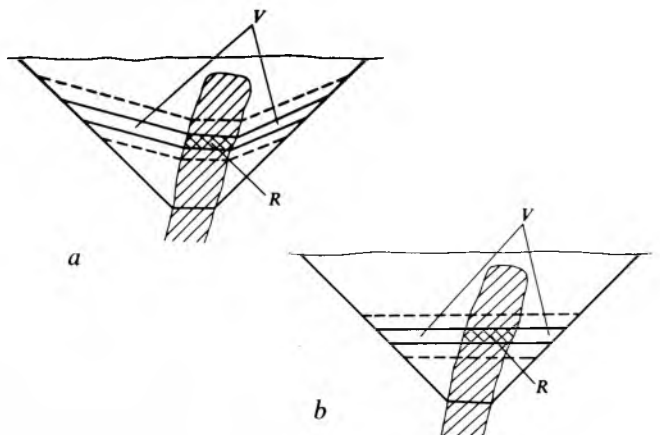
Diferencijalni koeficijent otkrivke (K_d) omjer je prirasta zapremine (ΔV) ili mase otkrivke i prirasta količina mineralne sirovine (ΔR) po jedinici dubine kad se produbljuje površinski kop (sl. 11a i b), odnosno po jedinici proširenja njegovih kontura (sl. 11c). Pri tome se podrazumijeva produbljavanje ili proširivanje pod uglom jednakim uglu završne kosine površinskog kopa. Taj diferencijalni koeficijent otkrivke iznosi

$$K_d = \frac{\Delta V}{\Delta R}, \quad (7)$$

Etažni (slojni) koeficijent otkrivke (K_e) omjer je zapremine (V) ili mase otkrivke u granicama sloja (sl. 12a) ili jedne etaže (sl. 12b) prema količini mineralne sirovine (R) u istom sloju ili etaži, pa je

$$K_e = \frac{V}{R}, \quad (8)$$

Sloj može imati i u poprečnom i uzdužnom presjeku bilo koji položaj: horizontalan, kos ili lomljen.

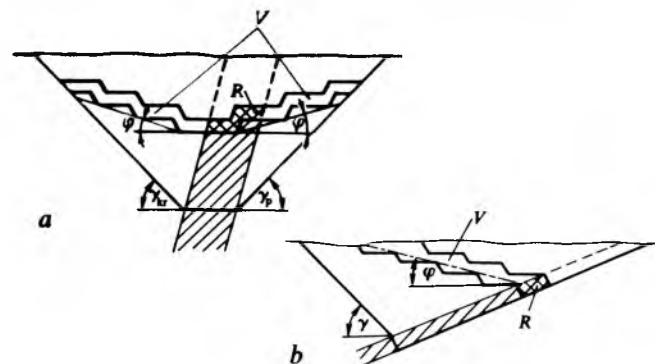


Sl. 12. Uz određivanje slojnog (a) i etažnog (b) koeficijenta otkrivke. R mineralna sirovina, V otkrivka

Eksploatacijski (tekući) koeficijent otkrivke (K_1) omjer je zapremine (V) ili mase otkrivke za određeni eksploatacijski period i količine mineralne sirovine (R) za isti period (sl. 13), pa je

$$K_1 = \frac{V}{R}, \quad (9)$$

Ako se posmatra cijeli eksploatacijski period rudnika ili neki drugi period, onda se eksploatacijski koeficijent otkrivke za taj period naziva srednji eksploatacijski koeficijent otkrivke za cijeli vijek eksploatacije ili za neki drugi period.

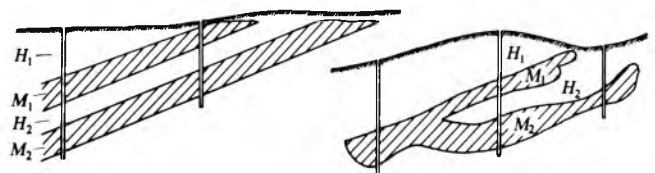


Sl. 13. Uz određivanje eksploatacijskog (tekućeg) koeficijenta otkrivke. a strmo, b koso ležište; R mineralna sirovina, V otkrivka

Investicijski koeficijent otkrivke (K_0) omjer je zapremine (V_0) ili mase investicijske otkrivke i ukupne količine mineralne sirovine (ΣR) u ograničenom površinskom kopu, pa je

$$K_0 = \frac{V_0}{\Sigma R}, \quad (10)$$

Investicijski koeficijent otkrivke pokazuje koliko investicijska otkrivka tereti svaku jedinicu mineralne sirovine u ograničenom površinskom kopu. Kada investicijsku otkrivku predstavljaju nanosi koji su nešto jeftiniji u eksploataciji, njena cijena se svodi na cijenu koštanja primarne otkrivke.



Sl. 14. Uz određivanje geološkog koeficijenta otkrivke. H dužina bušotine kroz otkrivku, M dužina bušotine kroz mineralnu sirovinu

Geološki koeficijent otkrivke (K_g) omjer je ukupnih dužina istražnih bušotina kroz otkrivku ($H_1 \dots H_n$) i ukupnih dužina bušotina kroz mineralnu sirovinu ($M_1 \dots M_n$, sl. 14), pa je

$$K_g = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n}, \quad (11)$$

Zakonomitosti razvoja rudarskih radova na površinskom kopu. U rudarstvu se radni proces ne obavlja na jednom mjestu, već u otkopima koji se premještaju. Intenzitet napredovanja otkopa zavisi od njegove površine i kapaciteta otkopnih mašina. Iz toga slijedi prva zakonitost da se radni otkopi premještaju u prostoru brzinom (v_0) koja je proporcionalna kapacitetu otkopnih mašina (Q) i obrnuto proporcionalna površini otkopa (F_0), pa je

$$v_0 = \frac{Q}{F_0}, \quad (12)$$

Površina otkopa jednaka je produktu visine (h) etaže (sloja) i širine (S) zahvata (bloka, sloja).

Svojstva stijenskog masiva imaju velik uticaj na parametre (P) rudarskog rada (površina presjeka, oblik, ugao kosine i dr.), pa oni zavise, što se može smatrati drugom zakonitošću,

od metoda (G) učvršćivanja (podgrađivanja) i svojstava masiva stijene (M), pa je

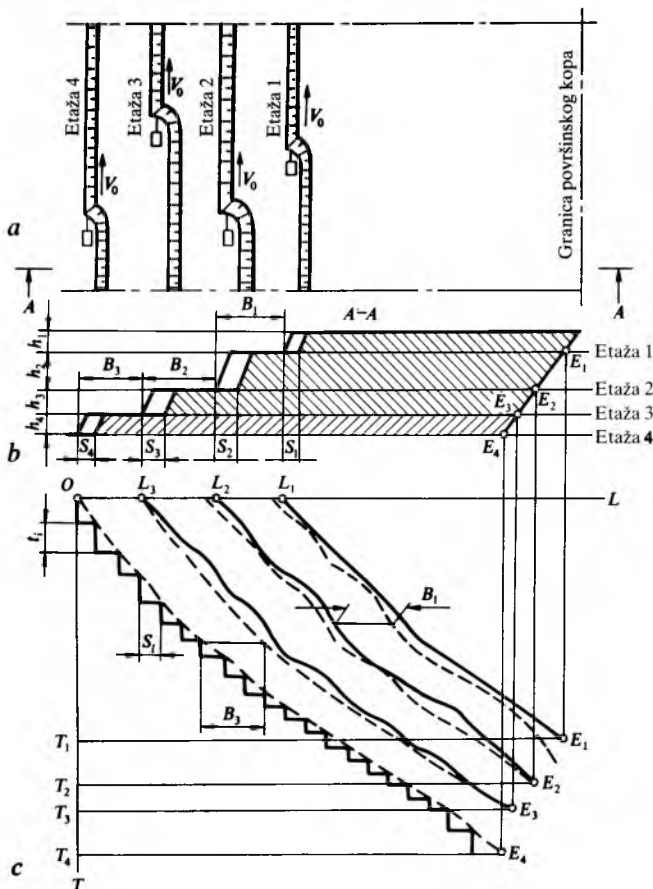
$$P = f(G, M). \quad (13)$$

Dinamika radova podliježe određenim zakonitostima. Tako, npr., radovi otvaranja (pristupa ležištu) moraju prethoditi pripremnim radovima, a ovi dobivanju mineralne sirovine. Prema tome, radovi otvaranja moraju imati jednak ili veći intenzitet od pripremnih radova, a pripremi radovi (otkrivka) od radova dobivanja. To se može prikazati nejednačinom (treća zakonitost):

$$\frac{dO}{dt} \cong \frac{dP}{dt} \cong \frac{dD}{dt}, \quad (14)$$

gdje je O dubina radova otvaranja, P dubina pripremnih radova, D dubina radova na dobivanju, a t vrijeme.

S obzirom na produbljavanje površinskog kopa razlikuju se dva tipa rudarskih radova: bez produbljavanja i s produbljavanjem površinskog kopa.



Sl. 15. Razvoj rudarskih radova površinskog kopa na horizontalnom ležištu. a plan radne zone, b poprečni profil, c ovisnost napredovanja radova o vremenu

Ako se eksploatira horizontalno ili blago nagnuto ležište, nije potrebno produbljavanje površinskog kopa. Tada se radna zona površinskog kopa razvija tako da svaka radna etaža u horizontalnom napredovanju prednjači pred nižom etažom najmanje za minimalnu (računsku) širinu radne površine (B_{0i}), pa mora biti (sl. 15)

$$B_{0i} \leq B_i + (v_i - v_{i+1})t, \quad (15)$$

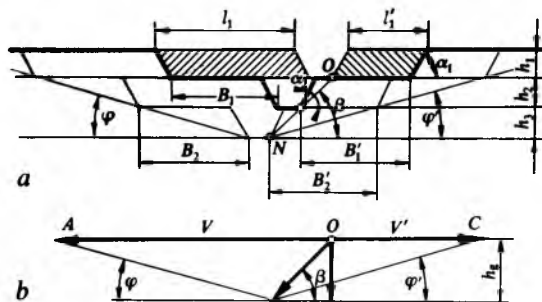
gdje je B_i stvarna širina radne površine i -te etaže u početku razmatranog perioda, v_i i v_{i+1} brzine napredovanja na etaži i i na nižoj etaži $i+1$, a t trajanja razmatranog perioda. Na sl. 15c izlomljenom linijom OE_4 prikazano je napredovanje 4. etaže. Lomljena linija može se zamijeniti isprekidanom linijom OM_4 . Slično se prikazuje napredovanje ostalih etaža. Obrada etaže 1 završava se za vremenski period T_1 , etaže 2 za vremenski period T_2 itd.

Uvijek mora biti

$$v_i \geq v_{i+1}, \quad (16)$$

što znači da brzina napredovanja gornje etaže mora biti veća ili jednaka brzini napredovanja donje etaže.

Kad se formira radna zona produbljavanjem površinskog kopa, svaka radna etaža pri horizontalnom napredovanju takođe prednjači pred nižom etažom najmanje za minimalnu širinu radne površine, ali uz uslov da se pri napredovanju u dubinu sačuva na donjoj radnoj etaži minimalna širina radne površine.



Sl. 16. Razvoj rudarskih radova površinskog kopa na kosom i strmom ležištu (a) i veza vektora napredovanja etaže i brzine produbljavanja (b)

Da bi se izvršilo produbljavanje na drugu etažu po liniji ON (sl. 16), front rudarskih radova prve etaže treba pomjeriti ulijevo, u smjeru gdje će se produbiti površinski kop, za l_1 , a udesno za l'_1 pa je

$$l_1 = h_2 (\cot \varphi + \cot \beta) = B_1 + h_2 \cot \beta \quad (17a)$$

$$l'_1 = h_2 (\cot \varphi' - \cot \beta) = B'_1 - h_2 \cot \beta. \quad (17b)$$

Budući da je

$$B_1 \geq B_{\min} + h_2 \cot \alpha_2 \quad (18a)$$

$$B'_1 \geq B'_{\min} + h_2 \cot \alpha_2, \quad (18b)$$

dobiva se da je

$$l_1 \geq B_{\min} + h_2 (\cot \beta + \cot \alpha_2) \quad (19a)$$

$$l'_1 \geq B'_{\min} - h_2 (\cot \beta - \cot \alpha_2). \quad (19b)$$

U opštem obliku koji vrijedi za sve etaže izrazi (19) glase:

$$l_i \geq B_{\min} + h_{i+1} (\cot \alpha_{i+1} + \cot \beta) \quad (20a)$$

$$l'_i \geq B'_{\min} + h_{i+1} (\cot \alpha_{i+1} - \cot \beta), \quad (20b)$$

gdje su l_i i l'_i rastojanja za koja mora napredovati front etaže i na strani produbljavanja da bi se omogućilo otvaranje etaže $i+1$, odnosno na suprotnu stranu, β ugao produbljavanja površinskog kopa, α_{i+1} ugao nagiba etaže $i+1$, a $B_{\min}$ i $B'_{\min}$ minimalna širina lijeve i desne radne površine.

Prava brzina produbljavanja predstavljena je vektorom $\overrightarrow{ON}$ (sl. 16b), ali je uobičajeno promatrati njegovu projekciju $\overrightarrow{ON_1} = h_g$. Tada su horizontalne brzine napredovanja v u stranu produbljavanja i v' na suprotnu stranu:

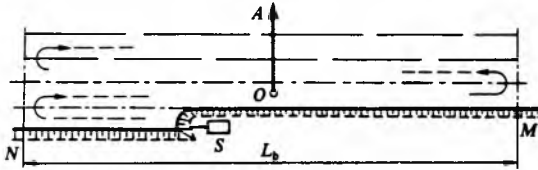
$$v \geq h_g (\cot \varphi + \cot \beta) \quad (21a)$$

$$v' \geq h_g (\cot \varphi' - \cot \beta). \quad (21b)$$

Cikličnost rudarskih radova četvrta je zakonitost rudarskih radova u površinskom kopu. Ta se cikličnost pojavljuje u svim fazama radnog procesa: rad bušaćih garnitura, miniranje stijenskih masa, rad bagera i transportnih sredstava, izrada usjeka, otvaranje i priprema novih etaža te njihova obrada.

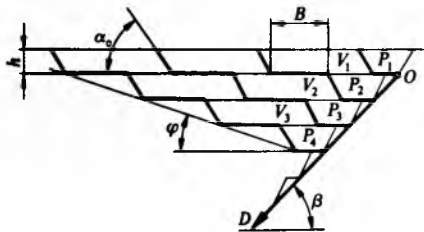
Uzajamne veze parametara dinamike razvoja rudarskih radova. Karakteristika je radne zone površinskog kopa stalna promjena broja etaža, radnih površina na etažama, ugla i oblika radne kosine. Front radova na etaži napreduje pomjeranjem bagerskog otkopa S (sl. 17) duž fronta, a linija fronta od M prema N u smjeru od O prema A . Otkop napreduje duž fronta brzinom koja je proporcionalna kapacitetu bagera, a obrnuto proporcionalna površini otkopa (12).

Da bi se obezbijedio potrebnii kapacitet površinskog kopa, potrebna je određena dužina fronta radova. Taj se front može obezbijediti otvaranjem novih etaža, odnosno produbljavanjem površinskog kopa.



Sl. 17. Shema napredovanja fronta radova na etaži

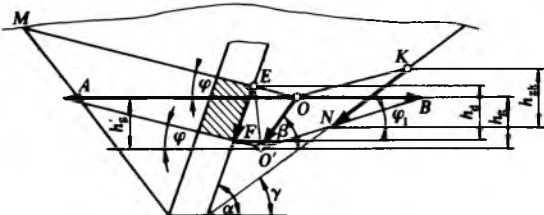
Stvaranje i obnavljanje fronta rudarskih radova prikazano je na sl. 18. Najprije se izrađuje silazni usjek kojim se otvara prva etaža, a zatim horizontalni otkopni usjek P_1 kojim se formira front rudarskih radova prve etaže. Proširenjem otkopnog usjeka P_1 premješta se front rudarskih radova, što omogućava otvaranje druge etaže (produbljavanje površinskog kopa). Za to je potrebno otkopati zapreminu V_1 i stvoriti radnu površinu B . Nakon toga se izrađuje silazni usjek za drugu etažu i otkopni usjek P_2 te odstranjuje zapremina V_2 itd.



Sl. 18. Shema premještanja radne kosine površinskog kopa uz produbljavanje

Otkopni usjeci na susjednim etažama raspoređuju se tako da spoj donjih ivica otkopnih usjeka daje liniju OD (sl. 18), koja predstavlja pravac produbljavanja površinskog kopa. Ugao nagiba toga pravca naziva se uglom produbljavanja površinskog kopa.

Između brzina produbljavanja i horizontalnog napredovanja fronta rudarskih radova postoji zavisnost koja se može matematički izraziti. Ako se produbljuje kroz podinsku otkrivku, odnosno ako se dno površinskog kopa premješta po pravcu i brzinom OO' pod uglom β (sl. 19), radne kosine površinskog kopa OM i OK u procesu eksploatacije prelaze u položaje $O'A$ i $O'B$ održavajući konstantne uglove φ i φ_1 .



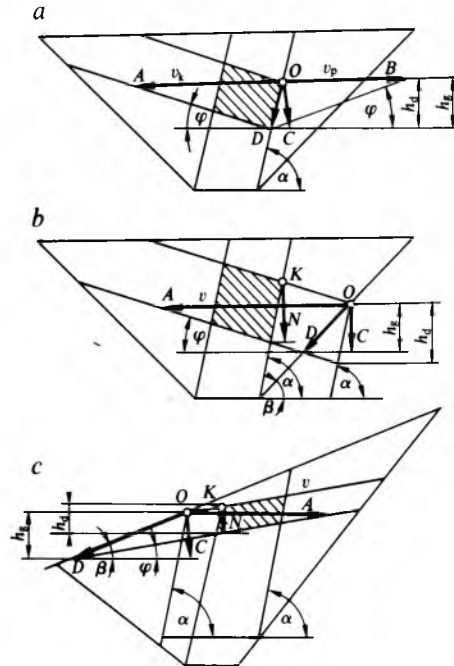
Sl. 19. Brzine razvoja radne zone površinskog kopa

Da bi se omogućilo produbljavanje površinskog kopa uz normalne širine radnih površina na etažama, potrebno je obezbijediti odgovarajuće napredovanje fronta rudarskih radova na etažama. Etaže na sl. 19 moraju napredovati u horizontalnom pravcu u obje strane po pravcima OA i OB . Radovi na dobivanju mineralne sirovine produbljaju se brzinom EF , a završna se kosina formira brzinom KN .

Pomoću geometrijskih odnosa moguće je odrediti vertikalne brzine produbljavanja u rudi i krovini (h_g), u rudi (h_d) te brzinu formiranja završne kosine (h_k) u ovisnosti o horizontalnim brzinama napredovanja fronta radova na etažama u rudi i krovini te na etažama u podini.

Na sl. 20 prikazano je otvaranje nestacionarnim usjecima po podinskom kontaktu rudnog tijela. Brzine napredovanja prikazane su vektorima. Produbljava se od tačke O po pravcu

OD pod uglom nagiba rudnog tijela α , a intenzitet se produbljavanja mjeri po vertikali OC (sl. 20a). Da bi se radovi na dobivanju mineralne sirovine spustili do tačke D (produbili za h_g), front rudarskih radova mora napredovati iz tačke O u tačku A , kroz rudu i krovinu (za rastojanje v_k), i u tačku B kroz podinu (za rastojanje v_p).



Sl. 20. Shema međusobne veze brzina razvoja rudarskih radova pri otvaranju. a po podinskom kontaktu, b po podinskoj završnoj kosini, c po prirodnoj padini (brdu)

Kad se otvara stacionarnim unutrašnjim usjecima po podinskoj završnoj kosini (sl. 20b), brzina produbljavanja površinskog kopa (h_g) nije jednaka brzini produbljavanja po rudi (h_d).

Kad se otvara po kosini reljefa (sl. 20c), brzina produbljavanja površinskog kopa (h_g) znatno je veća od brzine produbljavanja po rudi (h_d).

Opšta formula za brzinu produbljavanja po rudi (za dobivanje) glasi

$$h_d \leq \frac{v_k}{\cot \varphi \pm \cot \alpha}, \quad (22a)$$

a odnos između brzine produbljavanja po rudi i brzine produbljavanja površinskog kopa (h_g)

$$\frac{h_d}{h_g} = \frac{\cot \varphi \pm \cot \beta}{\cot \varphi \pm \cot \alpha}, \quad (22b)$$

gdje je v_k horizontalna brzina napredovanja fronte radova na rudi i krovini, φ ugao radne kosine u rudi i krovini, α ugao pada rudnog tijela, a β ugao produbljavanja površinskog kopa. Pozitivni predznak u izrazima (22a) i (22b) dolazi kad se ruda dobiva od podine prema krovini, a negativan kad je dobivanje obrnuto.

Granična dubina površinskog kopa. Svi proračuni granične dubine površinskog kopa svode se na upoređenje graničnog s ostalim koeficijentima otkrivke koji predstavljaju geometrijske parametre površinskog kopa. Dubina na kojoj je granični koeficijent jednak nekom od drugih koeficijenata otkrivke (zavisno od principa i metode) predstavlja graničnu dubinu površinskog kopa. Još je na početku našeg vijeka postavljen prvi princip proračuna granične dubine površinskog kopa izrazom

$$K_d \leq K_{gr}. \quad (23a)$$

Taj se princip zadržao sve do danas, jer predstavlja bazu na kojoj su se gradili i usavršavali svi kasniji principi. Osnovna ideja jednakosti troškova podzemne i površinske eksploatacije

na posljednjoj (graničnoj) etaži površinskog kopa, predstavljena prvim principom, sačuvana je u svim kasnijim principima i metodama. Mijenjali su se samo pogledi u vezi s izborom troškova površinske eksploatacije koje treba upoređivati s troškovima podzemne eksploatacije. Iz prvog principa proizišle su razne analitičke i grafičke metode pomoću kojih su određivane granične dubine površinskih kopova.

Tridesetih godina našeg vijeka prvi je princip usavršen postavljanjem drugoga, koji je u suštini samo njegova varijanta, i koji glasi

$$K_0 + K_d \leq K_{gr}. \quad (23b)$$

Kao dopuna prvog principa predložen je i treći princip proračuna granične dubine površinskog kopa prema izrazu

$$K_{pr} \leq K_{gr}. \quad (23c)$$

To je u suštini drugi limitirajući princip, jer se između njega i prvog principa nalaze svi ostali principi i metode proračuna granične dubine površinskog kopa.

Pedesetih se godina za prethodni proračun predlaže kombinacija prvog i trećeg principa ($K_d \leq K_{pr} \leq K_{gr}$), a za konačan proračun i novi, četvrti princip prema izrazu

$$K_t \leq K_{gr}. \quad (24)$$

Tekući koeficijent otkrivke u suštini je sinonim eksploatacijskog koeficijenta otkrivke ako se zanemari investicijski koeficijent otkrivke, odnosno investicijska otkrivka.

Kao rezultat daljeg usavršavanja četvrtog principa predlaže se peti princip koji glasi

$$K_0 + K_t \leq K_{gr}. \quad (25)$$

Osnovna je prednost posljednjih dvaju principa što se granična dubina određuje na bazi režima rudarskih radova, za razliku od ranijih koji su se bazirali na ispitivanju produbljanja površinskog kopa pod uglovima završnih kosina za svaku varijantu.

S povećanjem dubine površinskog kopa rastu mase otkrivke i mineralne sirovine. Porast količina otkrivke mnogo je brži od porasta količina mineralne sirovine.

Granični omjer otkrivke i mineralne sirovine naziva se graničnim (ekonomskim, krajnje dozvoljenim) koeficijentom otkrivke. Za razliku od drugih koeficijenata otkrivke koji su geometrijske veličine, granični je koeficijent ekonomska veličina i osnovni je kriterijum efikasnosti površinske eksploatacije. Granični se koeficijent otkrivke računa iz uslova jednakosti ukupnih troškova za podzemnu i površinsku eksploataciju (bez promjena troškova s dubinom eksploatacije), a računa se prema izrazu

$$K_{gr} = \frac{C_j - C_r}{C_v}, \quad (26)$$

gdje su C_j troškovi za jamsku eksploataciju, C_r troškovi dobivanja mineralne sirovine (bez otkrivke) u površinskoj eksploataciji, a C_v troškovi otkrivke.

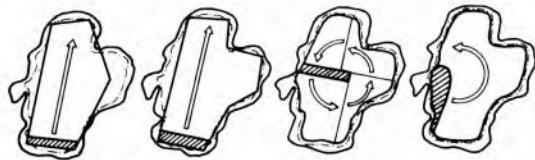
Te se vrijednosti mogu izračunati tek nakon izrade glavnog projekta jame i površinskog kopa. Međutim, za izradu projekta površinskog kopa potrebno je izračunati K_{gr} . Tako se dobiva svojevrsna protivvrječnost. Zbog toga se na početku moraju odrediti približne vrijednosti potvrđene u praksi. Ako je moguća samo površinska eksploatacija ili podzemna eksploatacija ne dolazi u obzir, umjesto C_j uzima se maksimalno dopuštena (prodajna) cijena mineralne sirovine (C_{pr}), pa formula (26) prelazi u oblik

$$K_{gr} = \frac{C_{pr} - C_r}{C_v}. \quad (27)$$

Otvaranje površinskih kopova

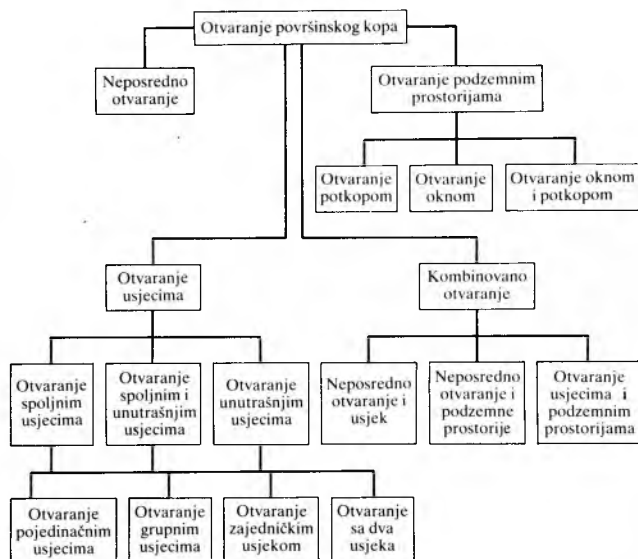
Radovima otvaranja obuhvaćena je ona faza površinske eksploatacije kojom se ostvaruje veza između početne tačke otvaranja i radnih etaža te obezbjeđuju transportne veze između aktivnih dijelova kopa i onih dijelova koji će se eksploatirati kasnije, tj. radnih etaža u otvaranju.

Otvaranje kopa u tijesnoj je vezi sa sistemom eksploatacije, izabranom opremom i smještajem odlagališta i objekata na razini tla, a njime se osigurava skladan režim rudarskih radova, ostvarenje projektovanih količina otkrivke i korisne sirovine, najmanja moguća investicijska otkrivka, minimalna dužina transporta i najkraći rok gradnje kopa.



Sl. 21. Granice eksploatacijskog polja u zavisnosti od lokacije objekta otvaranja i pravca napredovanja etaža

Pravilni izbor mjesta otvaranja i izbor načina rada omogućavaju potpuno iskorišćenje eksploatacijskog polja (sl. 21). Kad su ležišta slojevita, otvaranje mora biti locirano tako da omogućava napredovanje po sloju, jer eksploatacija prema padu ili usponu može uzrokovati klizanje masa i druge poteškoće zbog pogrešne orijentacije radova. U literaturi se mogu sresti različite klasifikacije otvaranja kopa. Najpraktičnija je klasifikacija prema kojoj otvaranje može biti neposredno, usjecima, podzemnim prostorijama i kombinovano (sl. 22).

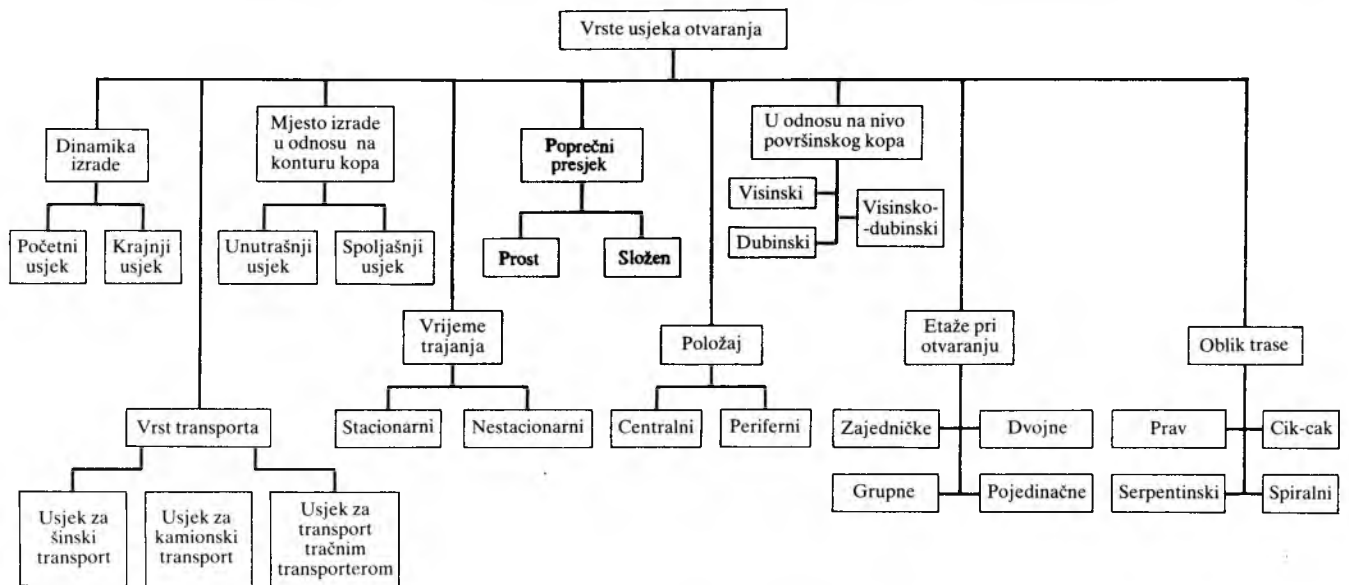


Sl. 22. Klasifikacija otvaranja površinskog kopa

Neposredno otvaranje najjednostavnije je otvaranje, a primjenjuje se na kopovima s otkrivkom takvih fizikalno-mehaničkih karakteristika koje omogućuju rad bez miniranja, skreperima, buldozerima i sl. Takva su uglavnom ležišta nemetala, ukrasnog i građevinskog kamena, šljunka i pijeska te sva nanosna ležišta. Primjenjuju se i u kombinaciji s drugim sistemima otvaranja.

Otvaranje usjecima. Otvaranje kopa usjecima najčešći je sistem otvaranja. Tako su otvoreni gotovo svi kopovi lignita i mrkog uglja u Jugoslaviji i mnogo površinskih kopova ruda gvožđa, boksita, nemetala i drugih mineralnih sirovina. Otvarački usjeci razlikuju se prema dinamici izrade (početni i završni usjeci), prema etažama (zajedničke, grupne, dvojne i pojedinačne), prema vrsti transporta (kolosiječni, kamionski transport), prema trajanju upotrebe (stacionarni i nestacionarni usjeci), prema položaju (centralni i periferni), prema poprečnom presjeku (prosti i složeni), prema obliku trase (ravni, serpentinski, spiralni i cik-cak usjeci), prema mjestu izrade u odnosu na konturu (unutrašnji i vanjski usjeci) i prema razini kopa (visinski, dubinski i visinsko-dubinski usjeci) (sl. 23).

Otvaranje kopa pomoću usjeka može biti pomoću pojedinačnih, grupnih i zajedničkih usjeka te pomoću dva usjeka.



Sl. 23. Vrste usjeka otvaranja površinskog kopa

Usjeci osim toga mogu biti vanjski, unutrašnji ili kombinacija vanjskih i unutrašnjih.

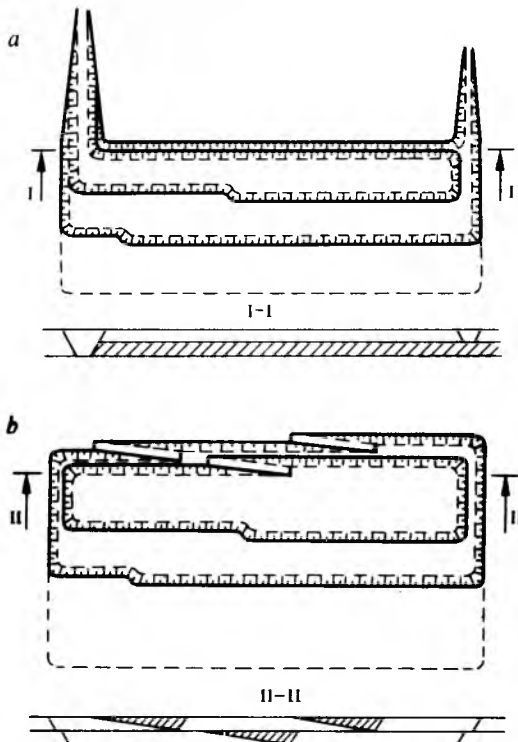
Kad se izvode pojedinačni usjeci, svaka je etaža otvorena posebnim usjekom. Obim je investicijskih radova velik i nije moguća koncentracija radova, ali je omogućena povoljna organizacija rada jer svaka etaža ima zaseban transportni put (sl. 24).

Za otvaranje grupnim usjecima karakteristično je da su grupe etaža otvorene jednim usjekom (sl. 25). Obim je investicijskih radova manji nego kad se kop otvara pojedinačnim usjecima.

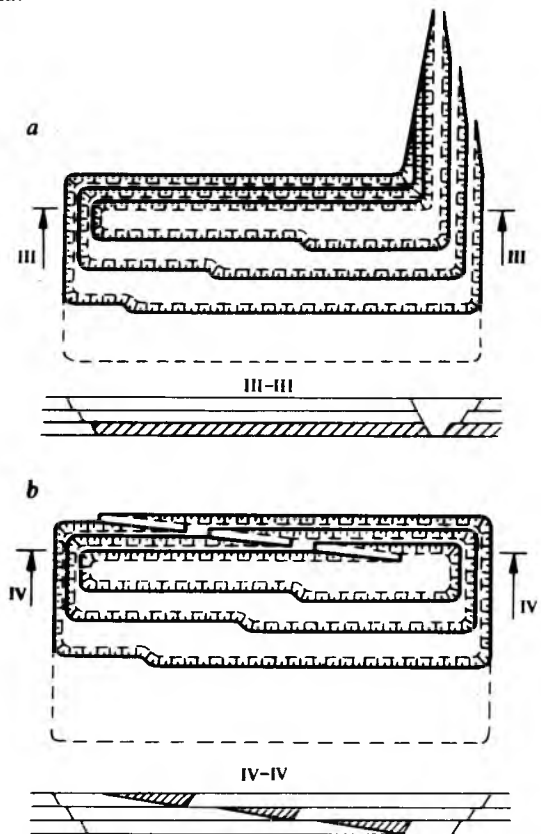
Otvaranje zajedničkim usjekom iziskuje najmanje investicijskih radova, ali su organizacijske sheme prilično složene jer cjelokupan izvoz i otkrivke i sirovine ide jednim usjekom (sl. 26).

Otvaranje sa dva usjeka najčešće je varijanta otvaranja grupnim usjecima (sl. 27). Tada se jednim usjekom otvaraju

sve etaže korisne sirovine, a drugim sve etaže otkrivke. Dobrim rasporedom transporta, taj sistem otvaranja omogućava povoljnu organizaciju rada, s nezavisnim transportnim putovima za otkrivku, odnosno za korisnu sirovinu. Više površinskih kopova uglja u Jugoslaviji otvoreno je sa dva usjeka.

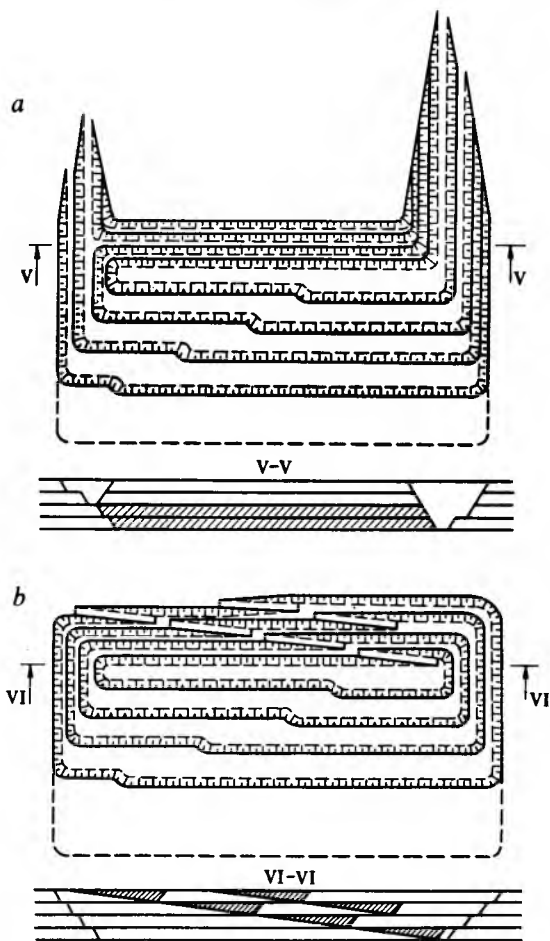


Sl. 24. Otvaranje površinskog kopa pojedinačnim usjecima. a vanjski, b unutrašnji usjeci

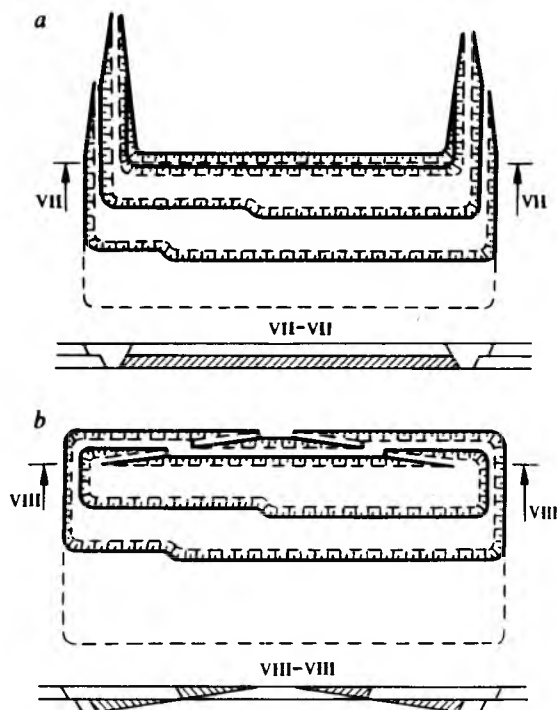


Sl. 25. Otvaranje kopa grupnim usjecima. a vanjski, b unutrašnji usjeci

Podzemne prostorije kojima se može otvarati površinski kop ili njegove dublje etaže jesu potkopi, niskopi te kosa i vertikalna okna. U praksi se najčešće otvaraju kopovi visinskog tipa i duboke etaže onda kada bi se normalnim razvojem kosih trasa dobili složeni oblici i velika dužina, pa bi eksploatacija postala neekonomična. Kad su završne kosine manje stabilne pa se po njima ne mogu voditi transportni



Sl. 26. Otvaranje kopa zajedničkim usjekom. a vanjski, b unutrašnji usjek



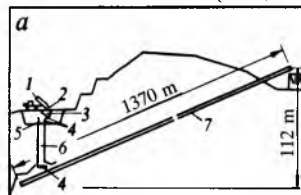
Sl. 27. Otvaranje kopa parom usjeka. a vanjski, b unutrašnji usjeci

putovi, otvaranje je podzemnim prostorijama ne samo sigurnije već se jedino tako može obezbijediti planirana proizvodnja. Poznati su primjeri otvaranja podzemnim prosto-

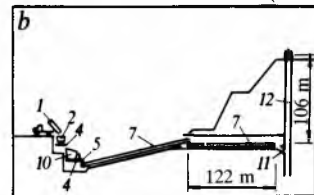
rijama, naročito visinskih površinskih kopova, u Austriji, Švedskoj, SSSR, SAD i Kanadi.

Otvaranje podzemnim prostorijama obično je povezano s gravitacijskim transportom po sipkama. Jamski rad na istom ležištu takode je često uzrok otvaranja podzemnim prostorijama i gravitacijskog transporta. Neka uspješna rješenja otvaranja podzemnim prostorijama, s dobrim trajnim rezultatima, prikazana su na sl. 28. U većini tih primjera primijenjen je kombinovani kamionsko-gravitacijski transport korisne sirovine ili se transport odvija kroz postojeću jamu.

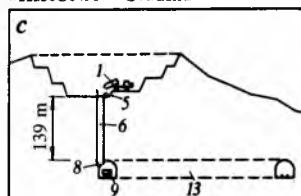
»SPRUCE« – Minnesota (SAD)



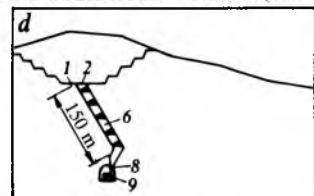
»SUSQUEHANA« – Minnesota (SAD)



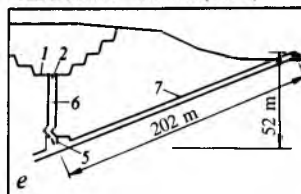
»KIRUNA« – Švedska



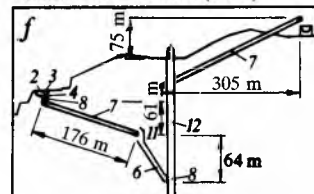
»CONSOLIDATED« – Arizona (SAD)



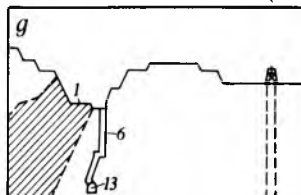
»ALGOMA« – Ontario (SAD)



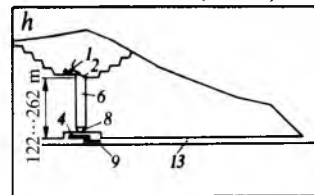
»CALAND« – Ontario (SAD)



»UNITED VERDE« – Arizona (SAD)



»CAROL« – Labrador (Kanada)



Sl. 28. Primjeri otvaranja kopa podzemnim prostorijama. 1 kamion, 2 rešetka, 3 bunker, 4 dozator, 5 drobilica, 6 sipka s odjeljenjem za prolaz ljudi, 7 transportna traka, 8 zatvarač sipke, 9 vagonet, 10 vibracijsko sito, 11 bunker za punjenje skipa, 12 skip, 13 potkop

Kombinovano otvaranje. Kopovi se najčešće otvaraju kombinovano, i to kombinacijom neposrednog otvaranja, otvaranja usjecima ili podzemnim radovima. Obično se etaže otkrivke otvaraju na jedan, a etaže korisne sirovine na drugi način. Kombinovano otvaranje uobičajeno je i za ležišta koja se eksploatišu djelomično jamski i djelomično površinski.

SISTEMI EKSPLOATACIJE POVRŠINSKIH KOPOVA

Sistem eksploatacije obuhvata redoslijed radova na otkrivci i korisnoj sirovini te pomoćne radove radi postizanja planiranog kapaciteta i punog iskorišćenja opreme.

Sistem eksploatacije čine dva osnovna proizvodna procesa: otkrivka i dobivanje mineralne sirovine. Oni se sastoje od sljedećih radnih procesa: bušenja, miniranja, bagerovanja (kopanje i utovar) i transporta. Otkrivka uključuje i radni proces odlaganja, a dobivanje se često završava deponovanjem mineralne sirovine. Osim toga, često je potrebno isušivanje, odnosno odvodnjavanje ležišta. Za odvijanje eksploatacije potreban je remont i održavanje putova, remont i održavanje opreme i sl. Struktura mehanizacije i sistem eksploatacije međusobno su povezani i uslovljeni. Struktura

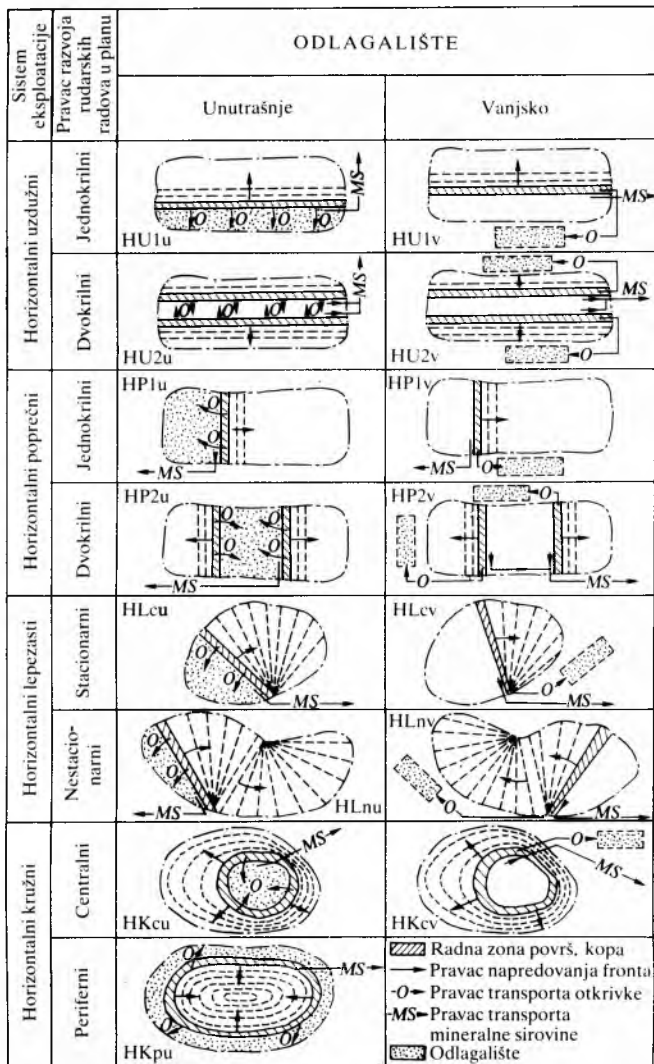
mehanizacije karakteriše se vrstama, tipovima i kapacitetima osnovne i pomoćne opreme, te usklađenošću i brojem u pojedinim proizvodnim i radnim procesima, dok sistem eksploatacije karakteriše broj, visina etaža i ugao nagiba njihovih kosina, konstrukcija, odnosno oblik otkopa, dužina fronta radova na otkrivic i dobivanju, širine radnih i transportnih površina, širine obrušnja od miniranja i drugi elementi površinskog kopa.

Proizvodni proces otkrivke najteži je dio procesa površinske eksploatacije jer je po obimu radova i količini opreme nekoliko puta veći nego proces dobivanja. Zbog toga je osnov većine klasifikacija površinske eksploatacije način, oprema i organizacija procesa otkrivke.

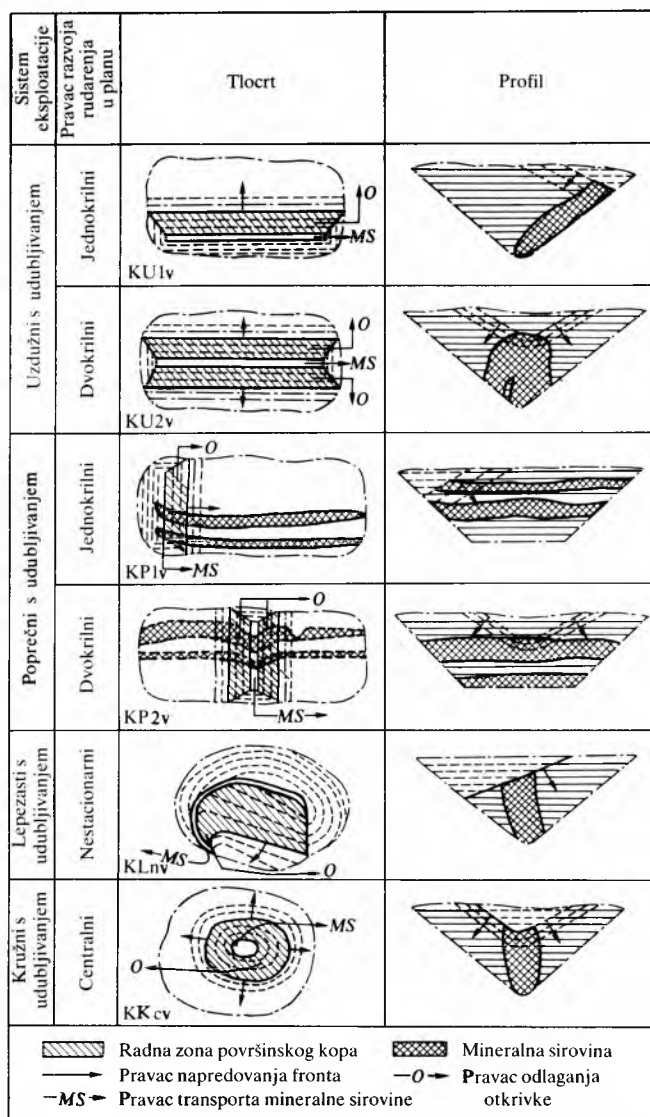
Kad se eksploatišu horizontalna i blago nagnuta ležišta, rudarsko-pripremni radovi (otvaranje i priprema etaža) obično se završavaju stvaranjem prvog fronta otkrivke i dobivanja.

Sistem površinske eksploatacije kao redoslijed pripremnih radova, otkrivke i dobivanja karakteriše se, u prvom redu, pravcem napredovanja rudarskih radova i lokacijama odlagališta. Na bazi tih elemenata izrađena je klasifikacija sistema površinske eksploatacije koja je prikazana na sl. 29a i 29b.

Osnovni su pokazatelji sistema eksploatacije: brzina napredovanja otkopa (m/mjesec), brzina napredovanja etaža (m/god.), brzina izrade usjeka (m/mjesec), brzina produbljavanja površinskog kopa (m/god.), godišnji kapacitet otkrivke i dobivanja po jedinici fronta, odnosno ukupnog fronta (m^3/km , t/km), gubici mineralne sirovine (%), kvalitativno i kvantitativno (maseno, zapreminsko) osiromašenje mineralne sirovine (%).



Sl. 29a. Sistemi površinske eksploatacije bez produbljavanja površinskog kopa



Sl. 29b. Sistemi površinske eksploatacije s produbljavanjem površinskog kopa

Parametri sistema eksploatacije i opreme. Veza parametara sistema eksploatacije s primijenjenom mehanizacijom zavisi od radnih parametara mašina i geometrijskog oblika otkopa. Struktura mehanizacije i radni kapaciteti mehanizacije u prvom redu zavise od parametara sistema eksploatacije i sheme otvaranja površinskog kopa.

Brzine napredovanja fronta na susjednim etažama međusobno su zavisne i uslovljene.

Sistemi eksploatacije na horizontalnim i blago nagnutim ležištima (bez produbljavanja)

Eksploatacija horizontalnih i blago nagnutih ležišta može se ostvariti jednostavnim ili složenim bestranspornim sistemom, sistemom eksploatacije s transportnim mostom, s konzolnim odlagačem, kombinacijom konzolnih odlagača, sistemom eksploatacije sa željezničkim transportom, s transportnim trakama i s hidromehanizacijom.

Bestransportni sistem eksploatacije sastoji se u prebacivanju otkrivke bagerima u otkopani prostor bez pomoći transportnih sredstava. Primjena toga sistema ograničena je na slojeve mineralne sirovine moćnosti od 30 m i otkrivku do 50 m. Primjenjuje se uglavnom na horizontalne i blago nagnute slojeve mineralne sirovine, a nekada se može primijeniti i na kose i strme slojeve za eksploataciju njihovih izdanaka.

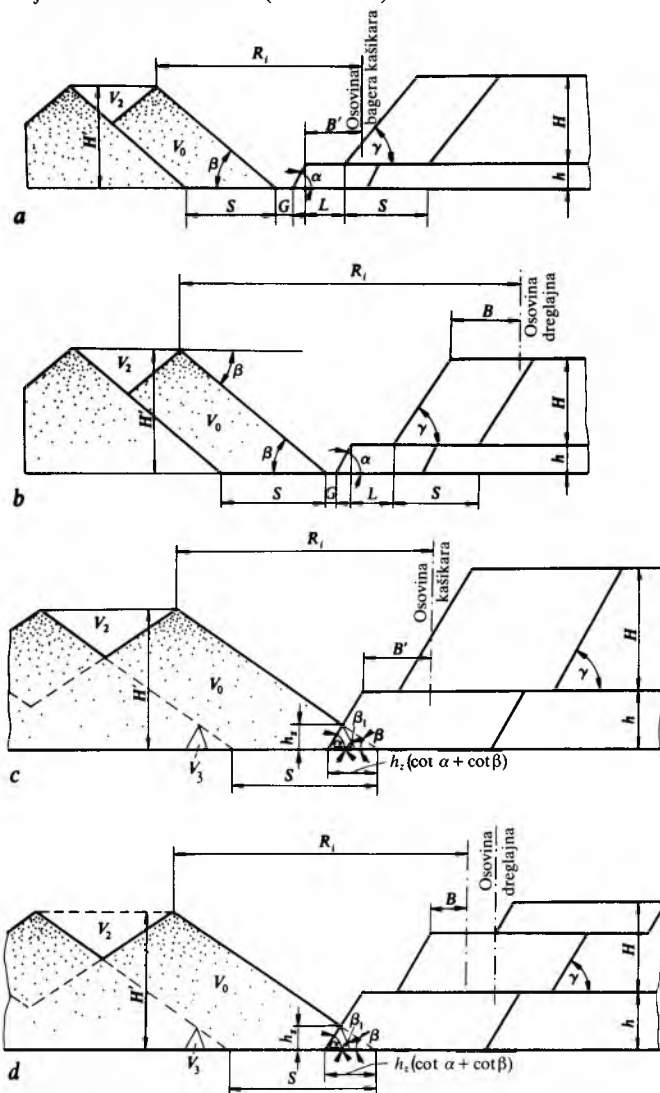
Bestransportni se sistem može primijeniti posebno ili u kombinaciji s transportnim sistemom. Relativno je jednostavan.

van u izvođenju, ali zahtijeva velike bagere s produženom katarkom. Produktivnost je rada vrlo visoka, a troškovi minimalni. Postoji sistem s jednostrukim prebacivanjem otkrivke u otkopni prostor (jednostavni bestransporni sistem) i sistem s ponovnim prebacivanjem otkrivke (složeni bestransporni sistem).

Jednostavni bestransporni sistem eksploatacije najefikasniji je sistem površinske eksploatacije i obezbjeđuje visoke tehničko-ekonomske pokazatelje.

Otkrivka se prebacuje bagerom kašikarom, smještenim na krovini sloja, ili bagerom dreglajnom, smještenim na jalovinskoj etaži, odnosno međuetazi, neposredno u otkopani prostor.

Jednostavni bestransporni sistem moguć je u dvije varijante. Otkrivka se, prema prvoj varijanti (sl. 30 a i b), prebacuje u odlagalište tako da bi se između odlagališta i etaže za dobivanje sačuvala radna površina na podini za smještaj sredstava za transport, odnosno odvodnjavanje. Pri tome je gubitak mineralne sirovine minimalan, ali je moćnost otkrivke ograničena, naročito kad se upotrebljavaju bageri kašikari s malim radiusom istresanja. Bageri srednje veličine mogu prebaciti otkrivku neznatne moćnosti (5...8 m), zbog čega njihova primjena nema smisla. Zadovoljavajuće rezultate u prebacivanju otkrivke pokazali su bageri dreglajni. U drugoj varijanti predviđa se djelimično zasipavanje kosine etaže mineralne sirovine otkrivanom. Tada se gubitak mineralne sirovine povećava zbog toga što se ostavlja trougao zasutog sloja u svakom zahvatu (sl. 30 c i d).



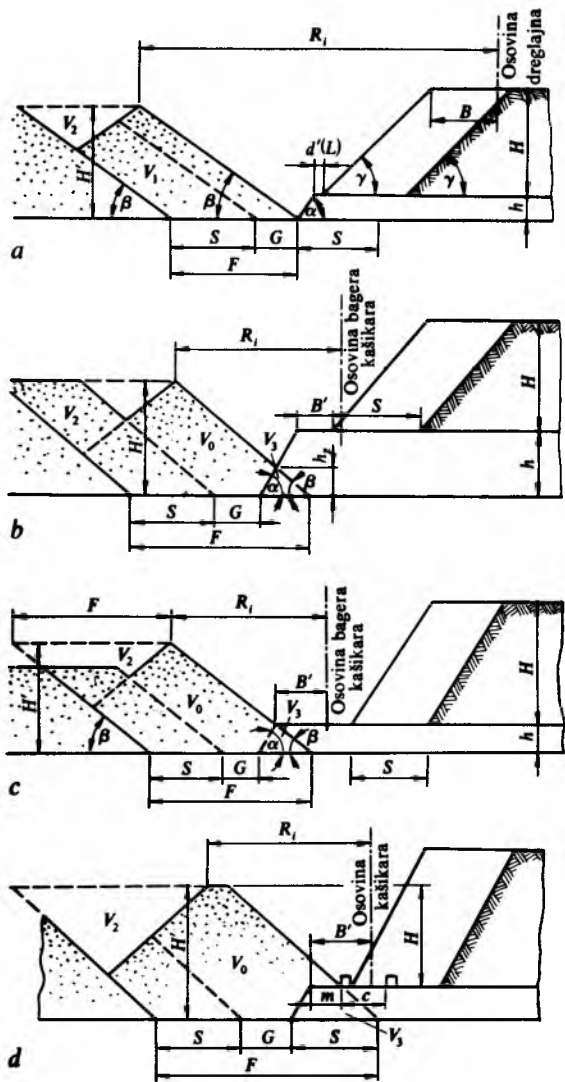
Sl. 30. Jednostavni bestransporni sistem eksploatacije. Prva varijanta: a s bagerom kašikarom, b s dreglajnom; druga varijanta: c s bagerom kašikarom, d s dreglajnom

Princip je proračuna elemenata jednostavnog bestranspornog sistema za sve varijante jednak. Granična visina etaže otkrivke određena je, naime, zapreminom odlagališta obradom jednog zahvata.

Visina je etaže otkrivke ograničena i visinom kopanja i istresanja bagera, pa se dobiveni parametri moraju prekontrolisati i prema parametrima bagera.

Princip je proračuna za bagerovanje dreglajnom jednak: zapremina zahvata otkrivke (m^3/min) pomnožena s koeficijentom rastresitosti treba biti jednaka zapremini odlagališta. Dreglajn može biti smješten na etaži otkrivke (sl. 30b) ili na međuetazi (sl. 30d).

Složeni bestransporni sistem eksploatacije karakteriše se time da dio otkrivke prebačene u otkopani prostor podliježe ponovnom prebacivanju (sl. 31).



Sl. 31. Složeni bestransporni sistem eksploatacije. a sa zasipavanjem pojasa G, b i c sa zasipavanjem etažne kosine na uglju, d sa zasipavanjem berme na etaži uglja

Taj sistem dopušta zasipavanje kosine etaže mineralne sirovine (sl. 31a), a ponekad i zasipavanje berme na krovini mineralne sirovine (sl. 31d). Izuzetno se dopušta zasipavanje i kosine etaže otkrivke.

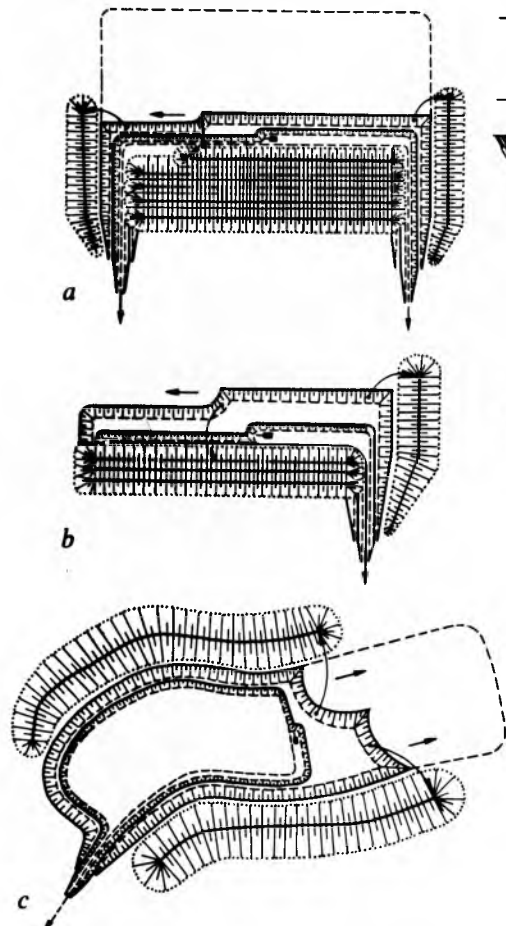
Cilj je ponovnog prebacivanja prebačene otkrivke oslobađanje tako zasutih kosina ili berme, te stvaranje površine na podini potrebne za transportna sredstva, drenažne uređaje, pojas sigurnosti i sl.

Pri proračunu parametara u složenom bestranspornom sistemu eksploatacije, pored visine etaže otkrivke, potrebno je odrediti i vrijednost koeficijenta ponovnog prebacivanja.

Bestransportni sistem površinske eksploatacije primijenjen je prvi put u Jugoslaviji, pa i u Evropi, 1952. godine u rudniku Banovići, i to u kombinaciji s transportnim sistemom.

Kako su geološki uslovi Banovića vrlo složeni za primjenu bestranspornog sistema, već od početka njegove primjene bagerovanje je provedeno dreglajnim, jer su se samo takvi bageri mogli prilagoditi tektonskoj strukturi banovičkog ugljenog sloja.

Za razliku od drugih rudnika, u Banovićima su se s vremenom počeli primjenjivati postupci s višestrukim prebacivanjem i višeslojnim odlaganjem.



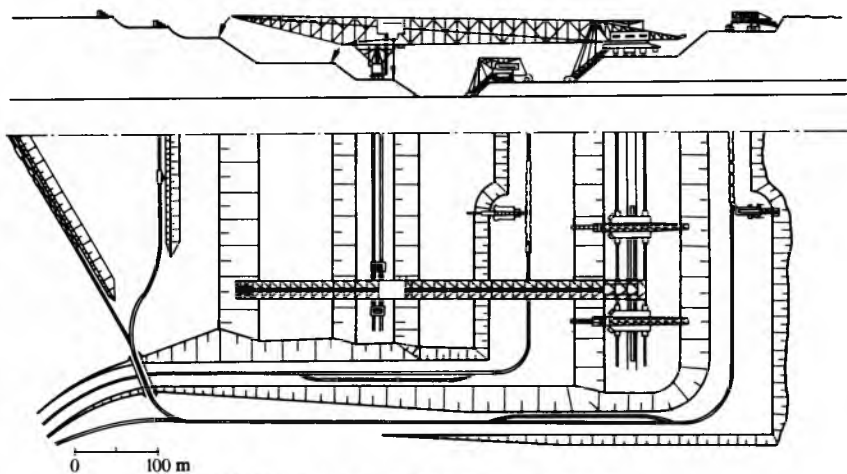
Sl. 32. Varijante bestranspornog sistema eksploatacije, a) s parom usjeka otvaranja, b) s jednim usjekom otvaranja, c) poprečni jednokrillni sistem

Ako je moguće eksploatisati ležište samo pomoću bestranspornog sistema površinske eksploatacije, onda se on formira i razvija uglavnom prema sljedećim varijantama: a) za horizontalna ležišta s promjenljivom moćnošću otkrivke i sa znatnim dimenzijama najčešće se upotrebljava uzdužni jednokrillni bestransporni sistem (s jednom radnom kosinom) s unutrašnjim odlagalištem i horizontalnim etažama. Etaže dobivanja mogu se otvoriti usjecima sa slijepim ili prolaznim kretanjem transportnih sredstava (sl. 32a), ili pojedinačnim usjekom na krilu ili sredini fronta radova (sl. 32b); b) za relativno uska i izdužena ležišta, gdje bi uzdužni sistem površinske eksploatacije zahtijevao relativno veliku količinu investicijske otkrivke (za otkopni usjek), primjenjuje se poprečni jednokrillni bestransporni sistem (s jednom radnom kosinom) s unutrašnjim odlagalištem i horizontalnim etažama (sl. 32c). Kad je potreban veći kapacitet površinskog kopa, može se u takvim uslovima projektovati poprečni dvokrillni bestransporni sistem površinske eksploatacije.

Sistemi eksploatacije s transportnim mostom (sl. 33). To su sistemi s poprečnim transportom otkrivke u unutrašnje najbliže odlagalište pomoću transportno-mostovske konstrukcije koja objedinjuje u proizvodni proces kopanje i utovar

(bagerovanje), transport i odlaganje. Transportni je most glavni dio uređaja, što ga još čine bageri i vezne konstrukcije. Sistemi eksploatacije s transportnim mostom primjenjuju se samo na horizontalnim slojevitim ležištima vrlo malog nagiba sloja ($2\cdots 3^\circ$), s mirnim reljefom podine i krovine te dovoljnom nosivošću stijena ($0,15\cdots 0,30$ MPa) koja omogućava smještaj teške konstrukcije mosta (masa je mosta i do 10000 t).

Mostovi se primjenjuju u kombinaciji s bagerima kontinuiranog djelovanja i na vrlo velikim površinskim kopovima na kojima se jedino mogu iskoristiti njihove mogućnosti i amortizovati dugotrajna čelična konstrukcija.



Sl. 33. Sistem eksploatacije s transportnim mostom

Osnovne su varijante sistema eksploatacije s transportnim mostom: uzdužni jednokrillni (veoma rijetko dvokrillni), lepezasti centralni i lepezasti nestacionarni sistem s unutrašnjim odlagalištem i horizontalnim etažama. Površinski se kop otvara vanjskim usjecima na jednom od krila fronta. Transportni se mostovi obično projektuju za konkretan površinski kop, premda već ima pokušaja da se ostvari serijska proizvodnja.

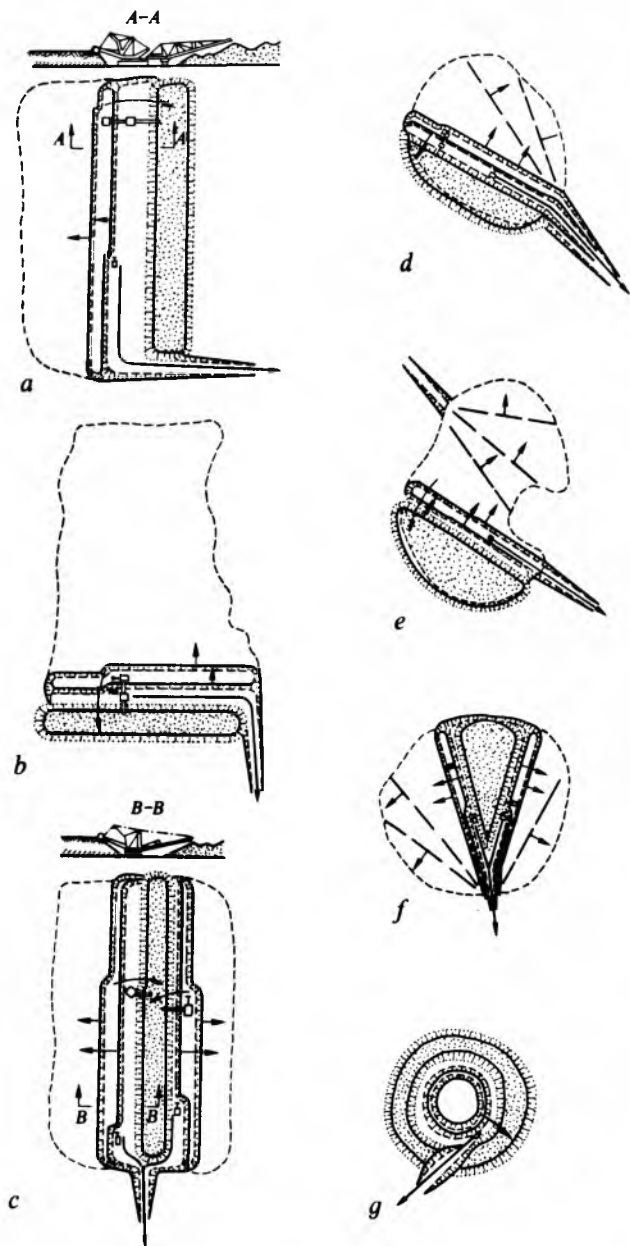
Sistemi eksploatacije s konzolnim odlagačem, kao i sistemi eksploatacije s transportnim mostom, imaju poprečni transport otkrivke u najbliže unutrašnje odlagalište. Konzolni odlagač i bager čine kompleks opreme koji se označava kao kompleks BO, što se naziva i sistemom eksploatacije. Današnji konzolni odlagači već imaju konzolu dugu i više od 150 m, s mogućnošću nasipavanja odlagališta do visine od $60\cdots 80$ m, zavisno od stajališta i moćnosti sloja mineralne sirovine.

Sistemi eksploatacije s konzolnim odlagačem primjenjuju se uglavnom na horizontalnim slojevitim ležištima i s vrlo malim nagibom sloja. Za razliku od sistema eksploatacije s transportnim mostom, upotreba konzolnog odlagača obično nije uslovljena većom nosivošću stijena, jer konzolni odlagači imaju vrlo mali specifični pritisak na tlo ($< 0,1$ MPa), što omogućava njihovu primjenu gotovo u svim geološkim i geotehničkim uslovima. Da bi se osigurala stabilnost, odlagalište je potrebno formirati u nekoliko slojeva, pa se visina istresanja velikih odlagača ne može iskoristiti. Budući da se otkrivka odlaže samo s kraja konzole odlagača, svaki se sloj odlagališta formira okretanjem odlagača, pa se tada mora zaustaviti bagerovanje i odlaganje. Zbog toga se smanjuje kapacitet kompleksa bager–odlagač (BO).

Uz konzolni odlagač najbolje je upotrijebiti rotorni bager, jer se tako postiže najveći kapacitet, premda se ne isključuju i druge kombinacije kao izuzeci.

Osnovne su varijante sistema eksploatacije s konzolnim odlagačem sljedeće: a) uzdužni jednokrillni sistem eksploatacije s unutrašnjim odlagalištem i horizontalnim etažama (sl. 34a) najbolje odgovara kompleksima s bagerom kašikarom (B_kO) i rotornim bagerom (BO); b) poprečni jednokrillni ili dvokrillni sistem eksploatacije s unutrašnjim odlagalištem i horizontalnim etažama (sl. 34b). Primjenjuje se na izduženom

i relativno uskom odlagalištu i horizontalnim etažama s bagerovanjem u horizontalnim zahvatima ili panelima (sl. 34). Primjenjuje se kad tome odgovara konfiguracija terena.



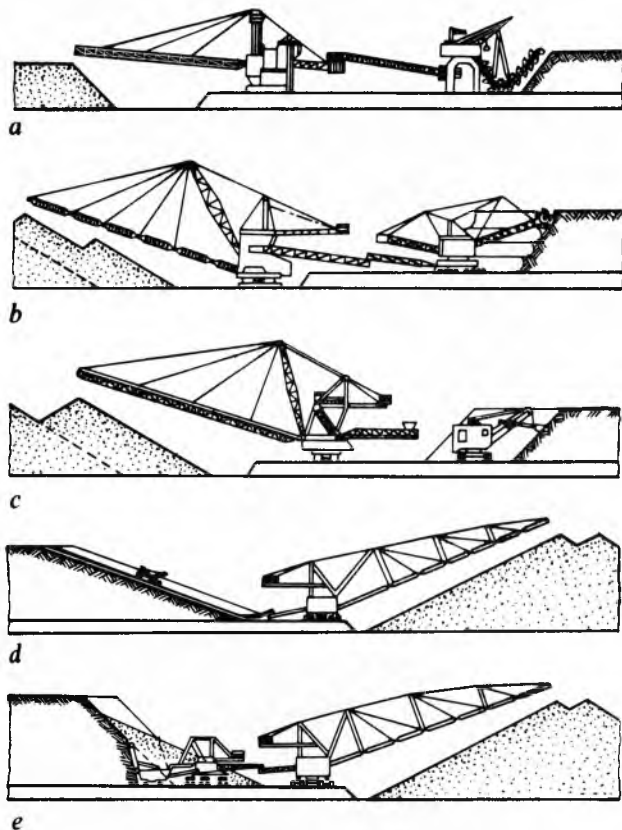
Sl. 34. Varijante sistema eksploatacije s konzolnim odlagačem. a uzdužni jednokrilni, b poprečni jednokrilni ili dvokrilni, c uzdužni dvokrilni, d lepezasti centralni, e lepezasti nestacionarni, f lepezasti dvokrilni, g kružni periferni (svi s unutrašnjim odlagalištem)

Sistem eksploatacije s poprečnim transportom otkrivke konzolnim odlagačem uglavnom se primjenjuje za mekane stijene otkrivke s rotornim bagerima ili bagerima vedričarima (sl. 35a, b). Međutim, taj sistem eksploatacije moguće je primijeniti i za čvrste stijene otkrivke koje se utovaraju bagerima kašikarima ili utovaračima (sl. 35c). Tada je obično potrebno obezbijediti još i uređaj za prosijavanje ili drobljenje, što omogućava transport trakama.

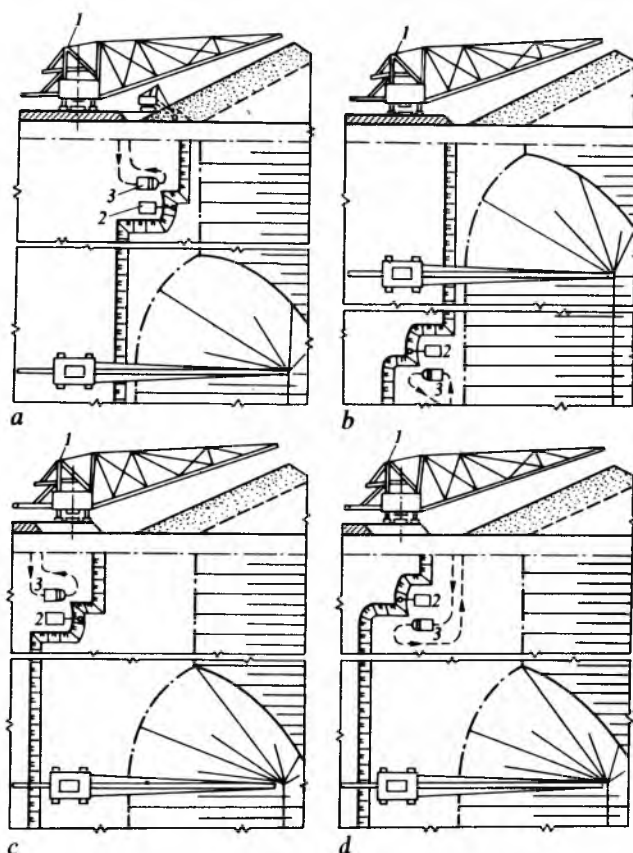
Sistem eksploatacije s poprečnim transportom otkrivke konzolnim odlagačima primjenjuje se i na otkrivku s kosim etažama (sl. 35d), pa čak i za prinudno obrušavanje otkrivke (sl. 35e).

Prema položaju transportnih komunikacija, kompleksa mehanizacije za dobivanje i smještaja odlagača razlikuju se sljedeće sheme: odlagač i bager za dobivanje na krovini (sl. 36a), odlagač na krovini i bager za dobivanje na podini (sl. 36b), odlagač na podini i bager za dobivanje na krovini (sl. 36c), odlagač i bager za dobivanje na podini (sl. 36d).

36b), odlagač na podini i bager za dobivanje na krovini (sl. 36c), odlagač i bager za dobivanje na podini (sl. 36d).

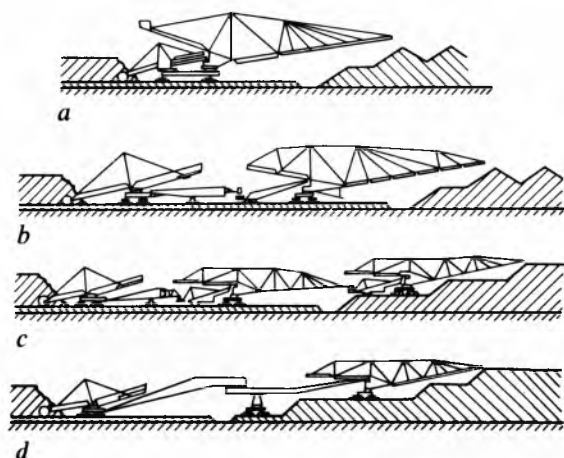


Sl. 35. Varijante sistema eksploatacije s poprečnim transportom otkrivke konzolnim odlagačem. a s bagerom vedričarom, b s rotornim bagerom, c s bagerom kašikarom, d s kosom etažom, e s prinudnim obrušavanjem otkrivke



Sl. 36. Sistemi transporta korisne sirovine uzduž radnog fronta. a odlagač i bager na krovini, b odlagač na krovini, bager na podini, c odlagač na podini, bager na krovini, d odlagač i bager na podini; 1 odlagač, 2 bager, 3 kamion

Kombinacije konzolnih odlagača mogu se svrstati u četiri osnovne grupe (sl. 37).



Sl. 37. Osnovne varijante kombinacija konzolnih odlagača i sistema s poprečnim transportom otkrivke: a B₀, b BO, c BOO, d BMO

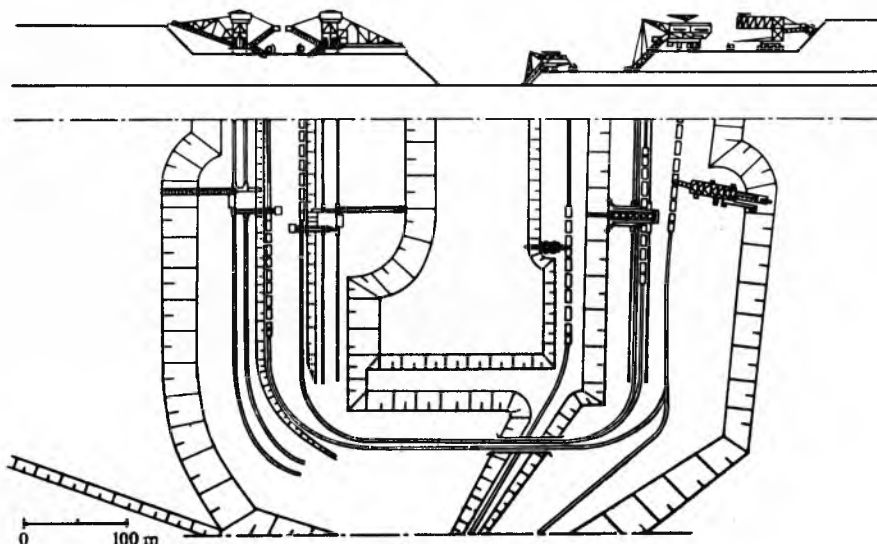
eksploatacije može razmatrati samo u kombinaciji s transportnim sistemom.

Sistemi eksploatacije sa željezničkim transportom spadaju u grupu sistema eksploatacije s uzdužnim transportom masa. To može biti sistem s transportom otkrivke na unutrašnja odlagališta (horizontalna ležišta) i sistem s transportom otkrivke na vanjska odlagališta (kosa ležišta).

Željeznički transport otkrivke na unutrašnja odlagališta primjenjuje se u eksploataciji horizontalnih i blago nagnutih (10...12°) ležišta za bilo koju moćnost rudnog tijela (sl. 38). Uz željeznički transport otkrivke na unutrašnja odlagališta najčešće se predviđa lepezasti centralni sistem eksploatacije u horizontalnim etažama, panelima ili tankim kosim slojevima uzduž fronta radova (sl. 39a) i uzdužni jednokrillni (rijetko dvokrillni) sistem eksploatacije u horizontalnim etažama, panelima ili tankim kosim slojevima (sl. 39b).

U obje varijante sistema eksploatacije moguća je upotreba bagera kašikara, vedričara i rotornog bagera. Rotorni bager i kašikar kopaju u horizontalnim etažama ili panelima, dok vedričar kopa u tankim kosim slojevima uzduž fronta radova.

Željeznički kolosijeci od otkopa otkrivke do odlagališta prolaze po nadvožnjaku iznad glavnog vanjskog usjeka otvaranja (sl. 39a) ili po transportnim bermama na čelnoj



Sl. 38. Sistem eksploatacije sa željezničkim transportom

Prva je kombinacija (sl. 37a) u suštini rotorni bager s velikom istovarnom konzolom (specijalna konstrukcija), pa se on može nazvati i bagerom odlagačem (B₀). Takve su specijalne konstrukcije već odavno poznate i upotrebljavaju se u SAD za poprečni transport nešto čvršće otkrivke, a smještene su na donjem postroju velikih bagera kašikara ili dreglajna.

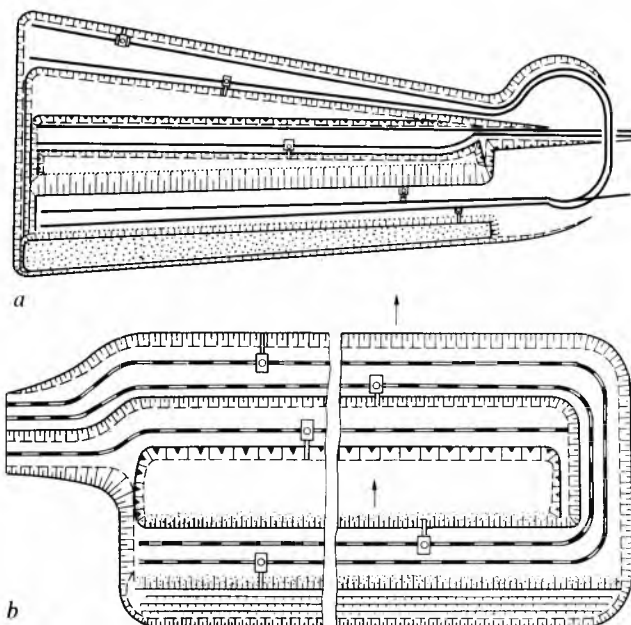
Druga je kombinacija (sl. 37b) već opisana, a to je kombinacija rotorni bager + odlagač (BO).

Treća kombinacija odlagača (BOO, sl. 37c) proizašla je zbog potrebe višeslojnog odlaganja (geomehnički razlozi) i povećanja otkrivenih rezervi mineralne sirovine (povećanje kapaciteta i pouzdanosti proizvodnje).

Četvrta kombinacija (BMO, sl. 37d) u suštini je usavršena treća kombinacija, uz znatno smanjenje ukupne mase uređaja, pa time i investicija. Međutim, da bi se odabrala četvrta kombinacija specijalne konstrukcije, umjesto treće (serijske mašine), potrebno je dovoljno veliko ležište i dovoljno dug vijek rada površinskog kopa za njegovu amortizaciju.

Najčešće se za kombinaciju bager–odlagač (BO, BOO, BMO i sl.) predviđaju bageri velike dohvatne visine, pa zbog toga i kopanje otkrivke u jednoj etaži.

Za površinske kopove u nas primjena sistema eksploatacije s poprečnim transportom otkrivke konzolnim odlagačima uglavnom je ograničena na kolubarska i kosovska nalazišta. U drugim našim ugljenim basenima poprečni se sistem



Sl. 39. Varijante sistema eksploatacije sa željezničkim transportom otkrivke na unutrašnja odlagališta. a lepezasto, b paralelno napredovanje fronta

završnoj kosini površinskog kopa (sl. 39b). U obje varijante kolosijeci su za transport otkrivke i mineralne sirovine posebni i nezavisni.

Površinski kop sa željezničkim transportom na kosim i strmim ležištima otvara se pomoću unutrašnjih pojedinačnih, zajedničkih ili grupnih usjeka.

Najčešće su varijante sistema eksploatacije sa željezničkim transportom otkrivke na vanjska odlagališta: uzdužni jednokrinski sistem u horizontalnim etažama, uzdužni jednokrinski sistem i uzdužni dvokrinski (za strma ležišta) sistem eksploatacije.

Sistemi eksploatacije s tračnim transportom primjenjuju se kao samostalan tehnološki proces za eksploataciju ležišta s manje čvrstom otkrivkom koja se može kopati bez prethodnog rastresanja. U ležištima s čvrstom otkrivkom taj se sistem za sada primjenjuje za eksploataciju nanosa iznad osnovne otkrivke u kombinaciji s drugim sistemima.

Sistem eksploatacije s tračnim transportom široko je uveden i prihvaćen jedino u kombinaciji rotorni bager-traka-odlagač (BTO), odnosno kad se otkrivka može kopati pomoću savremenih rotornih bagera. Zbog toga je primjenljiv uglavnom za horizontalna i blago nagnuta ležišta s glinasto-pješčanom otkrivkom.

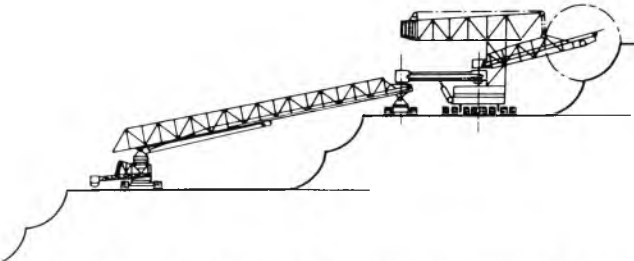
Da bi se povećala koncentracija smanjenjem broja etaža i povećala dubina površinskog kopa uz primjenu sistema eksploatacije s tračnim transportom, u posljednje se vrijeme uvodi sistem eksploatacije s tračnim transportom u kosim etažama. Sistemi eksploatacije s tračnim transportom mogu biti: sistemi eksploatacije u horizontalnim etažama i sistemi eksploatacije u kosim etažama.

Sistemi eksploatacije s tračnim transportom u horizontalnim etažama mogu se svrstati u sisteme s unutrašnjim i sisteme s vanjskim odlagalištem.

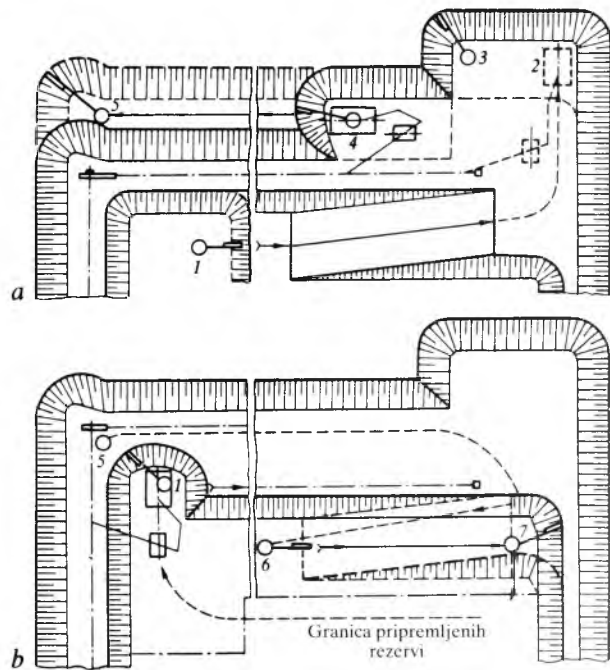
Sisteme eksploatacije s unutrašnjim odlagalištem moguće je primijeniti na horizontalnim i blago nagnutim (do 10°) ležištima. Sistemi eksploatacije s vanjskim odlagalištima mogu se primijeniti na svim ležištima (horizontalnim, kosim i strmim).

Paralelno napredovanje fronta najprikladnije je za primjenu kombinacije bager-traka-odlagač, jer je, u odnosu na lepezasto napredovanje, potrebno dva puta rjeđe premještati transportne trake. Zbog toga se najčešće projektuju uzdužni sistemi eksploatacije, rjeđe poprečni.

Visina etaže je jedan od najvažnijih parametara sistema eksploatacije s tračnim transportom. Težnja za povećanjem visine i smanjenjem broja etaža bila je i ostala jedan od osnovnih pravaca u radu i projektovanju površinskih kopova. Umjesto ranijeg podržavanja te težnje konstrukcijom bagera sa što većom visinom kopanja, danas se to ostvaruje podjelom etaža na dvije i tri međuetaze, a pomoću samohodnih presipnih traka (T_s) koje se postavljaju između bagera i transportne trake (BT_sTO) ostvaruje se koncentracija transporta trakom i njeno rjeđe premještanje. Umjesto ranije tendencije stalnog porasta dimenzija bagera, danas je već u radu peta generacija rotornih bagera s manjim visinama kopanja, pa zbog toga i s većom silom kopanja. U radu su i tzv. kompaktni bageri (veliki kapacitet, male dimenzije) pete generacije s teoretskim kapacitetima od 630, 1250, 2500 i 5000 m³/h. Umjesto samohodne presipne trake može se izraditi i samohodna presipna mostovska konstrukcija (sl. 40).



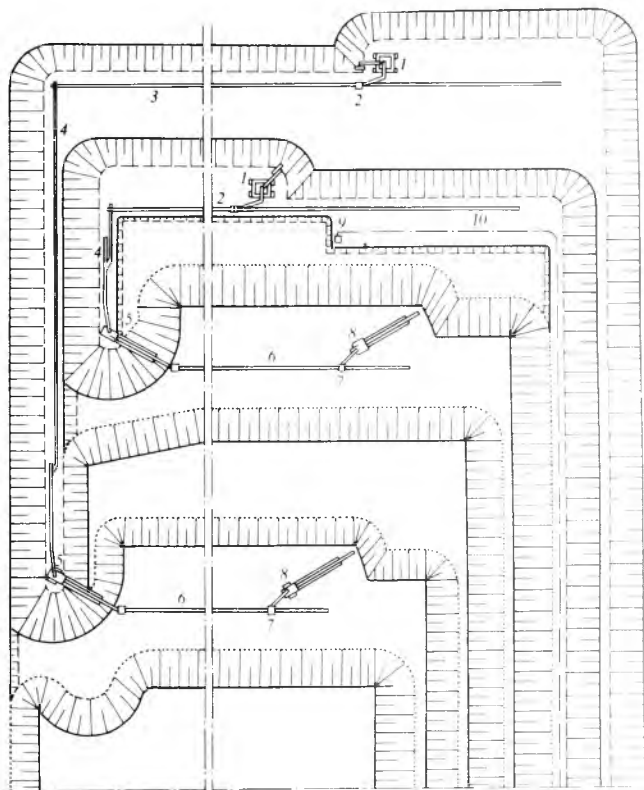
Sl. 40. Podjela etaže na tri međuetaze sa samohodnom mostovskom konstrukcijom



Sl. 41. Podjela etaže na dvije međuetaze. a obrada gornje i donje međuetaze, b izrada rampe i usijecanje novog zahvata na donjoj međuetazi. 1...7 redoslijed hoda bagera

Kad se etaža podijeli na dvije međuetaze (sl. 41), otkopna je traka smještena na donjoj površini gornje međuetaze.

Kad je ležište horizontalno i blago nagnuto, gotovo se uvijek primjenjuje transport otkrivke na unutrašnje odlagalište (sl. 42), jer otkup zemljišta i rekultivacija otkopanog prostora postaju sve veća stavka u troškovima eksploatacije, s tendencijama stalnog porasta.



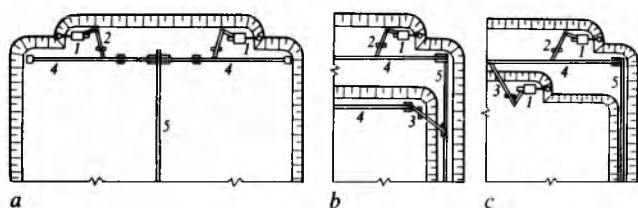
Sl. 42. Sistem eksploatacije s tračnim transportom otkrivke na unutrašnje odlagalište. 1 rotorni bager, 2 utovarni bunker (kolica), 3 otkopna transportna traka, 4 bočna (poprečna) transportna traka, 5 odlagač (pretovarač), 6 odlagališna transportna traka, 7 istovarna kolica, 8 odlagač, 9 bunker za dobivanje, 10 osovina transportne komunikacije za korisnu sirovinu

Otkrivka se kopa u jednoj ili nekoliko horizontalnih etaža, zavisno od njene moćnosti i radnih dimenzija bagera. Kompleks mehanizacije za sistem eksploatacije prema sl. 42 čine bager-traka-odlagač-traka-odlagač (BTOTO), što je jedna od mnogih modifikacija osnovnog kompleksa bager-traka-odlagač (BTO).

Izbor bagera, podjela površinskog kopa po visini (na etaže) i izbor ostale opreme provodi se na osnovu mogućeg, zadanog ili potrebnog kapaciteta površinskog kopa, moćnosti sloja mineralne sirovine i eksploatacijskog koeficijenta otkrivke.

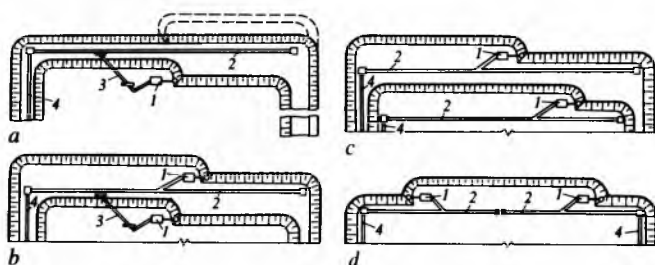
Zbog uzajamne povezanosti gotovo svih pokazatelja i parametara površinskog kopa, konačna verifikacija mehanizacije, elemenata sistema eksploatacije i razvoja površinskog kopa provodi se kalendarskim planom površinskog kopa kao završnim dokumentom projekta.

Transport u sistemu eksploatacije s unutrašnjim odlagalištem može se koncentrisati pomoću zajedničke zbirne (sl. 43a, b) ili otkopne transportne trake (sl. 43c). Ta se koncentracija provodi obično za otkrivku kad se ona transportuje prema jednom mjestu odlaganja.



Sl. 43. Koncentracija transporta zbirnim (a, b) i otkopnim (c) trakama. 1 rotorni bager, 2 otkopna i 3 međuetazna samohodna traka, 4 otkopna i 5 zbirna transportna traka

Kad se otkrivka transportuje na različita mjesta odlaganja (različite etaže odlaganja), potrebno je projektovati nekoliko otkopnih zbirnih i odlagališnih transportnih traka. Broj transportnih traka može biti manji, jednak, ili čak veći od broja etaža. Pri koncentraciji transporta, pa time i etaža, jedna otkopna, zbirna i odlagališna transportna traka (sl. 44a) ili dvije otkopne, jedna zbirna i odlagališna (sl. 44b) služe za dvije etaže (međuetaze) ili dva bagera. To bitno smanjuje investicije i eksploatacijske troškove, posebno za premještanje traka. Tako se smanjuje broj i povećava visina etaža unutrašnjih odlagališta.



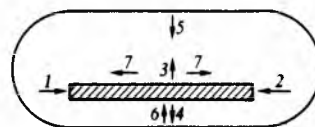
Sl. 44. Shema bagerovanja u kompleksu bager-traka-odlagač (BTO). a) podjela etaže na dvije međuetaze s jednim rotornim bagerom, b) obrada podetaža posebnim bagerima, c) obrada svake etaže svojim bagerom i transportnom trakom, d) dva bagera i dvije transportne trake na etaži; 1 rotorni bager, 2 otkopna transportna traka, 3 samohodna transportna traka (pretovarač), 4 zbirna transportna traka

Sistemi eksploatacije na kosim i strmim ležištima (s produblјavanјem)

U površinskom kopu na kosom i strmom rudnom tijelu (sl. 45), a za paralelan razvoj, moguće je sedam varijanti početnog položaja i pravaca razvoja rudarskih radova. Varijante 1 i 2 u suštini su iste i označavaju primjenu poprečnog jednokrlnog sistema eksploatacije s paralelnim napredovanјem po pružanju ležišta. Takav položaj i pravac napredovanja rudarskih radova primjenjuje se kod izduženih ležišta, s cilјem smanjenja količina investicijske otkrivke. Isti efekat se dobiva i dvokrlnim razvoјem fronta rudarskih radova (pravac

7), ali uz primjenu poprečnog dvokrlnog sistema eksploatacije. Međutim u dvokrlnom poprečnom sistemu eksploatacije ima i fronta rudarskih radova dvostruku dužinu, čime se eliminiše taj nedostatak poprečnih sistema, zbog čega je dvokrlni sistem u prednosti. Varijanta razvoja rudarskih radova 4 označava primjenu uzdužnog dvokrlnog sistema eksploatacije, a varijante 5 i 6 uzdužnog jednokrlnog sistema eksploatacije, sa svim prednostima i nedostacima svojstvenim tim položajima i pravcima razvoja.

Sl. 45. Varijante početnog položaja i pravaca razvoja rudarskih radova površinskog kopa na kosim i strmim ležištima



Za varijante položaja i razvoja rudarskih radova 3 i 4 karakterističan je nestacionaran položaj kamionskih putova i manja količina investicijske otkrivke u odnosu na druge uzdužne sisteme eksploatacije. Otkopni se usjek izrađuje po jednom od kontakata rudnog tijela (češće krovinском, rјede podinskom) ili po rudnom tijelu.

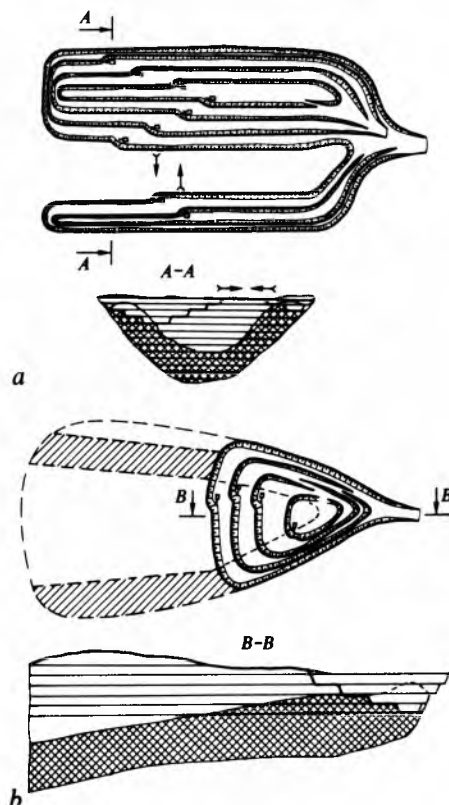
Varijanta položaja i razvoja rudarskih radova (5) krajnje je neracionalna, jer predviđa izradu otkopnog usjeka po krovinскоj završnoj kosini, što ima za posljedicu vrlo veliku investicijsku otkrivku i koeficijent neravnomјernosti otkrivke.

Za ugao pada ležišta do 30...35°, za razvoj po varijanti 6, mogući su stacionarni položaji u podinskom kontaktu (podinskoj završnoj kosini), bez dodatnog napredovanja u podini. Za veće uglove pada ležišta neophodna je podinska otkrivka po uslovu smјestaja putova, bez obzira na geomehantičke osobine stijena.

Na izduženim kosim ležištima sa čvrstim stijenama u podini, razvoj po varijanti 6 dosta je čest uz primjenu uzdužnog jednokrlnog sistema eksploatacije (sl. 9a).

Na strmim ležištima najčešće se bira položaj i razvoj rudarskih radova po varijantama 3 i 4 uz primjenu uzdužnog dvokrlnog sistema eksploatacije (sl. 46a).

U uzdužnom dvokrlnom sistemu eksploatacije (po varijanti 3 ili 4) zapremina je podinske otkrivke obično znatno



Sl. 46. Uzdužni dvokrlni (a) i poprečni jednokrlni (b) sistem eksploatacije sinklinalnog ležišta

manja od krovinske. Zavisno od konkretnih uslova, podinska otkrivka može normalno napredovati (sa manjim brojem bagera) ili forsirano radi što bržeg stacionarnog lociranja putova u podinsku završnu kosinu površinskog kopa.

Na strmim rudnim tijelima (i na mnogim ležištima građevinskih materijala) koja uslovljavaju okrugli oblik površinskog kopa moguć je kružno-radijalni razvoj rudarskih radova od sredine na sve strane (sl. 29). Ako je reljef terena u obliku uzvišenja, razvoj je rudarskih radova od granica površinskog kopa prema centru.

U sinklinalnom ležištu najčešće razvoj rudarskih radova počinje na krilima sinklinale (sl. 46a), što znatno smanjuje investicijsku otkrivku, gubitke i osiromašenja, povećava dužinu fronta rudarskih radova, pripremljene rezerve mineralne sirovine, kapacitet i njegovu pouzdanost. Radi smanjenja eksploatacijskog koeficijenta otkrivke najčešće se projektuje uzdužni dvokrilni sistem eksploatacije (na oba krila sinklinale), iako može i jednokrili (samo na jednom krilu sinklinale). Za slučaj jednokrillnog uzdužnog sistema eksploatacije ujednačavanje eksploatacijskog koeficijenta otkrivke vrši se po dužini površinskog kopa (podjelom na otkopna polja s različitim tempom razvoja i dr.).

Na sinklinalnom ležištu moguće je i poprečno napredovanje (poprečni sistem eksploatacije), što ponekad omogućava i formiranje unutrašnjeg odlagališta (sl. 46b), pa kao dodatni uticajni faktor može biti odlučujući u pojedinim konkretnim uslovima.

Kako je već dokazano u najvećem broju slučajeva, usijecanje etaža i razvoj rudarskih radova u brdskom površinskom kopu može se obavljati samo odozgo nadolje.

Otkrivka i vanbilansne mineralne sirovine po pravilu se odlažu u etažna ili grupna odlagališta uz površinski kop, čime se obezbjeđuje skoro horizontalna trasa i relativno kratko rastojanje transporta.

Uzdužni jednokrillni sistem eksploatacije (sl. 47c) tipičan je za brdske površinske kopove čija gornja granica izlazi na kosinu reljefa. Otvaranje etaža vrši se vanjskim pojedinačnim ili zajedničkim usjekom. Kod velikog nagiba reljefa često se mora otkrivka ili mineralna sirovina gurati s etaže na etažu, čime se praktično uvodi sistem eksploatacije s uskim radnim površinama.

Na brdskim površinskim kopovima inače je karakterističan veliki broj etaža s uskim radnim površinama. Obrušenja od

miniranja često prekrivaju čitavu širinu radne površine i prelaze na nižu etažu. Za takve slučajeve racionalno je miniranje na nepočišćenu etažu, više etaža zajedno ili kaskadni raspored bagera po etažama, ako je izdužen površinski kop.

Poprečni sistem eksploatacije (sl. 47a, b) u brdskom površinskom kopu omogućava dobivanje ravnomjernijeg režima rudarskih radova, a da se investicijska otkrivka, po pravilu, ne povećava. Broj panela na etaži u poprečnom sistemu eksploatacije zavisi od kapaciteta površinskog kopa i moćnosti ležišta. Prvi pokazatelj određuje potrebnu, a drugi moguću dužinu fronta radova na mineralnoj sirovini. Zavisno od odnosa tih pokazatelja bira se krilno, centralno ili kombinovano otvaranje etaža. Kod jednostranog transportnog prilaza, na svakoj se etaži usijeca jedan poprečni otkopni usjek, odnosno jedan panel na jednom od krila površinskog kopa.

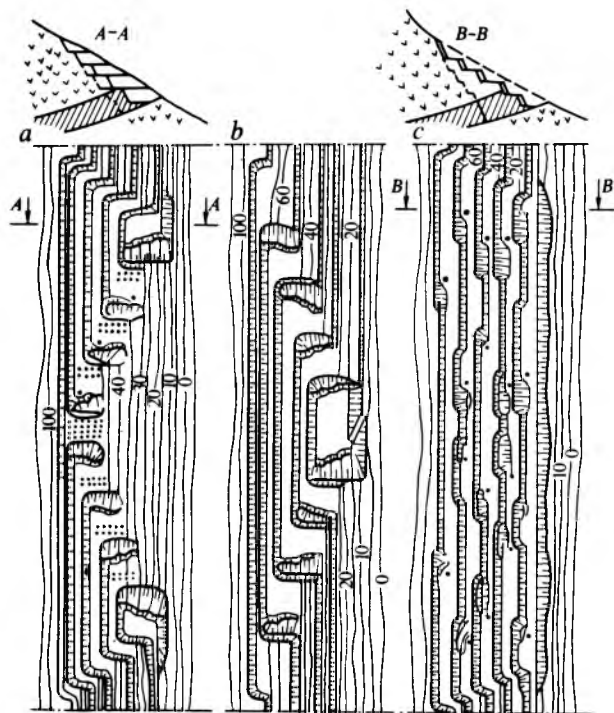
Kod dvostranog transportnog prilaza paneli napreduju ususret jedan drugome (sl. 47a). Razvoj (napredovanje) panela je moguć i od sredine prema krilima površinskog kopa (sl. 47b). Ako je potreban veliki kapacitet, na izduženom površinskom kopu se može projektovati istovremeni razvoj od sredine prema krilima i od krila prema sredini, čime se postiže maksimalna koncentracija rudarskih radova. Za taj slučaj kamionski putovi su locirani duž cijelog površinskog kopa i na svakoj etaži.

Sistemi eksploatacije s kamionskim transportom masa primjenjuju se uglavnom na površinskim kopovima metalnih i nemetalnih ruda, a u posljednje vrijeme i na površinskim kopovima uglja sa otkrivanjem koju treba minirati. Otkrivka se obično transportuje na vanjska odlagališta, premda se ne isključuju unutrašnja odlagališta na horizontalnim i blago nagnutim ležištima.

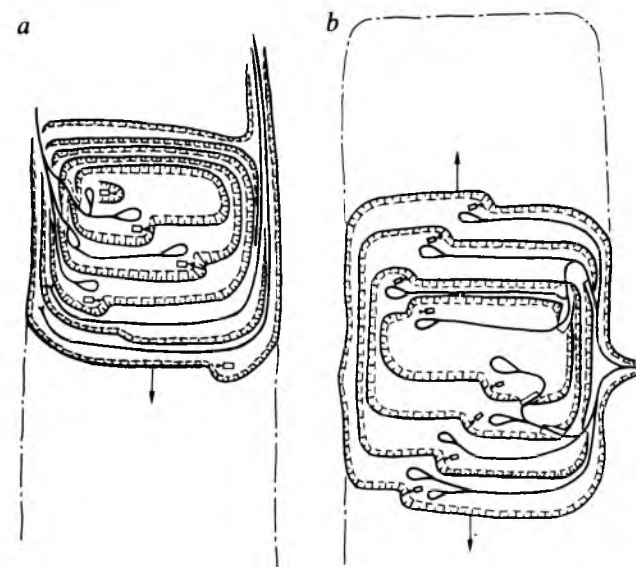
Takvi sistemi eksploatacije uglavnom su vezani za primjenu bagera kašikara ili utovarača kao mašine za kopanje i utovar (bagerovanje), pa je kompleks bager-kašikar-kamion-buldozer, ili utovarač-kamion-buldozer, skoro tipski za tzv. diskontinuiranu tehnologiju površinske eksploatacije.

Sistemi eksploatacije s kamionskim transportom otkrivke mogu se podijeliti na dvije osnovne grupe: a) sistemi eksploatacije s kamionskim transportom i otkopnim usjecima na etažama (sistem eksploatacije s uzdužnom pripremom etaže i prečnim napredovanjem fronta) i b) sistemi eksploatacije s kamionskim transportom bez otkopnih usjeka na etažama (sistemi eksploatacije s poprečnom pripremom etaža i sa uzdužnim napredovanjem fronta radova).

Sistemi eksploatacije s kamionskim transportom i otkopnim usjecima na etažama. Osnovna je karakteristika sistema



Sl. 47. Varijante poprečnog (a, b) i uzdužnog (c) sistema eksploatacije u brdskom površinskom kopu



Sl. 48. Poprečni jednokrillni (a) i dvokrilni (b) sistem eksploatacije s kamionskim transportom

eksploatacije na kosim i strmim ležištima promjenljiv položaj i dimenzije radne zone površinskog kopa, što je uslovljeno njegovim postepenim produblјavanјem.

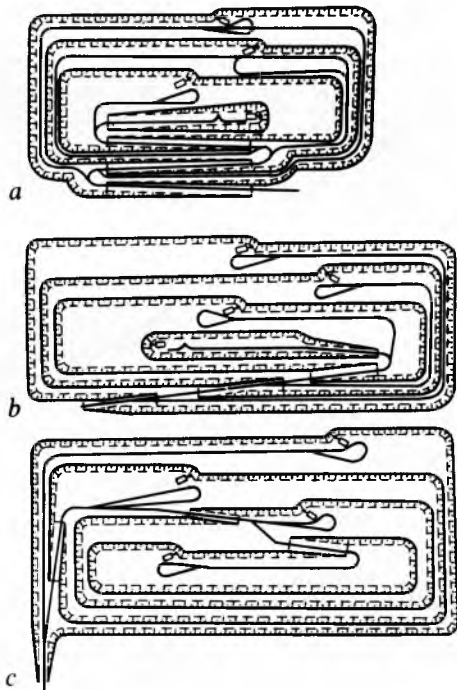
Variјante 1 i 2 (sl. 45) u suštini su iste, s poprečnim položajima fronta radova (etaža) na jednom, odnosno drugom krilu površinskog kopa i napredovanјem fronta po pružanju rudnog tijela (sl. 48). Takav položaj i pravac napredovanja (razvoja) rudarskih radova primjenjuje se kod izduženih ležišta radi smanjenja količine investicijske otkrivke.

Variјante 1 i 2 označavaju primјenu poprečnog jednokrillnog sistema površinske eksploatacije. Isti efekat (smanjena količina investicijske otkrivke) dobije se i sa dvokrillnim razvoјem fronta radova (po pravcima 7, sl. 45) uz primјenu

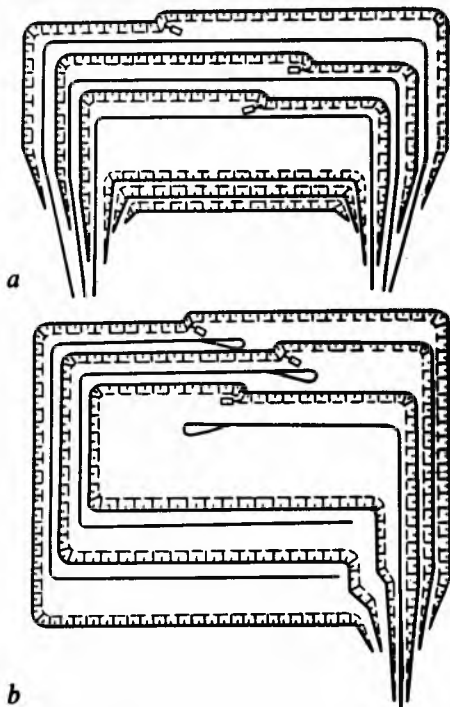
poprečnog dvokrillnog sistema površinske eksploatacije (sl. 48b).

Za variјante položaja i razvoja rudarskih radova 3 i 4 (sl. 45) karakterističan je nestacionaran položaj kamionskih putova i manja količina investicijske otkrivke u odnosu na druge uzdužne sisteme eksploatacije. Otkopni usjek se može izrađivati po jednom od kontakata rudnog tijela (sl. 49c) ili po rudnom tijelu (sl. 49a).

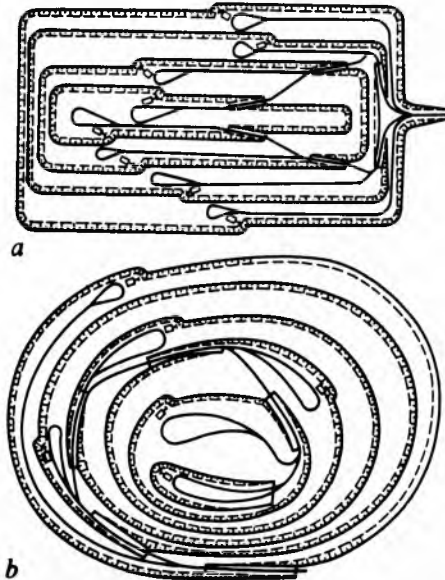
Efektivnost sistema eksploatacije u velikom stepenu zavisi od strukture kompleksne mehanizacije. Izbor strukture kompleksne mehanizacije i odgovarajuće variјante sistema eksploatacije u čvrstim stijenama vezan je s većom dubinom



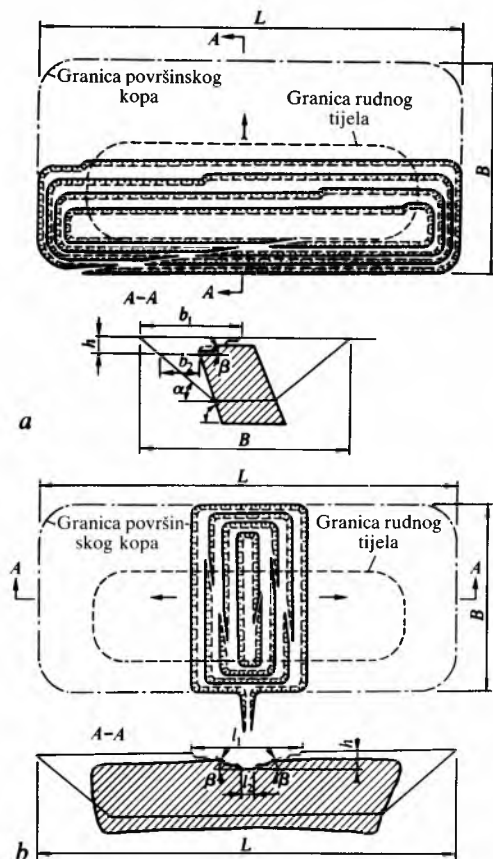
Sl. 49. Sistemi eksploatacije s kamionskim transportom na kosim ležištima



Sl. 50. Sistemi eksploatacije s kamionskim transportom na horizontalnim i blago nagnutim ležištima. a s vanjskim, b s unutrašnjim odlagalištem



Sl. 51. Sistemi eksploatacije s kamionskim transportom na strmim ležištima. a uzdužna, b kružna eksploatacija



Sl. 52. Položaji fronta rudarskih radova nakon završne investicijske otkrivke. a prva variјanta, b druga variјanta

površinskog kopa, većim brojem etaža, raznim varijantama otvaranja i transporta te s razvojem rudarskih radova.

Pravac napredovanja fronta radova kod kosog zalijeganja rudnog tijela obično je od podinske prema krovinskoj završnoj kosini po pravcu 6 (sl. 49a, b) uz primjenu uzdužnog jednokrlnog sistema eksploatacije.

Horizontalna i blago nagnuta ležišta eksploatišu se obično uz primjenu uzdužnog jednokrlnog sistema površinske eksploatacije (sl. 50) s vanjskim ili unutrašnjim odlagalištem.

Za relativno kratka ležišta okruglog oblika u planu i strmim zalijeganjem karakterističan je kružni centralni sistem eksploatacije (sl. 51) sa nestacionarnim spiralnim kamionskim putovima.

Od svih logičnih varijanti sistema eksploatacije strmih ležišta, gdje se skoro jedino primjenjuje kamionski transport masa, uzdužni jednokrlni sistem eksploatacije, varijanta I (sl. 52a), i poprečni dvokrlni sistem eksploatacije, varijanta II (sl. 52b), dva su krajnja slučaja po mnogim uticajnim faktorima, kao što su: količina investicijske otkrivke, kapacitet i odgovarajuća dužina fronta radova, dužina transporta, zapremina otkopnog usjeka i sl. (izuzimajući spomenuti razvoj rudarskih radova od krovinske završne kosine koji se ne može smatrati logičnim).

Analizom osnovnih pokazatelja sistema eksploatacije proizlazi da je zapremina investicijske otkrivke po drugoj varijanti za 35...60% manja nego u prvoj varijanti sistema.

Sistemi eksploatacije s kamionskim transportom bez otkopnih usjeka po etažama. Opisani sistemi eksploatacije s uzdužnom pripremom etaža i prečnim napredovanjem fronta rudarskih radova (s otkopnim usjecima), pored svojih prednosti za moćnija i po pružanju relativno kratka ležišta, imaju nedostatke sa gledišta intenzivnosti razvoja rudarskih radova.

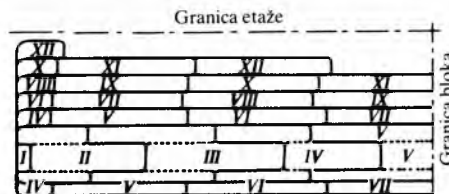
Primjena kamionskog transporta masa, miniranja više etaža odjedanput i na nepočišćenu etažu sa savršenijom tehnikom i tehnologijom rudarskih radova omogućila je povećanje intenzivnosti i ekonomičnosti površinske eksploatacije. Tako je postignuta brzina produbljavanja površinskog kopa u mekšim i srednjim stijenama 30...35 m/god. i u veoma čvrstim stijenama 20...35 m/god. Iz dosadašnjeg iskustva u primjeni sistema eksploatacije s poprečnim zahvatima (bez otkopnih usjeka) može se konstatovati prosječna brzina produbljavanja površinskog kopa od 30 m/god.

Primjena kamionskog transporta i sistema eksploatacije bez otkopnog usjeka omogućila je nesmetan rad nekoliko bagera na svakoj etaži, pa odatle i veliki intenzitet radova. Organizacija ritmičkog rada, kako pojedinih bagera tako i etaže u cijelosti, znatno umanjuje zastoje opreme, čime se povećava njen eksploatacijski kapacitet.

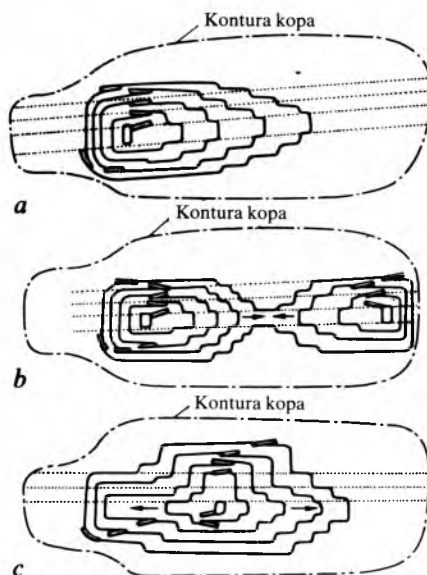
Sušтина sistema eksploatacije bez otkopnog usjeka sastoji se u sljedećem: Na novoj etaži koja treba da se otvara buši se i minira po cijeloj visini blok dužine 200 m i širine 50...100 m (sl. 53). Miniranje je s milisekundnim usporenjem u više redova i na nepočišćenu etažu (bez druge slobodne površine). Po ivici miniranog bloka (sl. 54) izrađuje se privremeni kosi usjek širine oko 30 m, što omogućava okretanje kamiona. Poslije spuštanja radova na kotu niže

etaže silazni usjek postepeno prelazi u prošireni horizontalni otkop dimenzija 40 × 40 m, kada se etaža smatra otvorenom. Poslije toga etaža se širi na cijelu dužinu poprečnog zahvata (bloka). Pri tome nekoliko bagera može raditi u poprečnim zahvatima (blokovima). Bušenje i miniranje se nastavlja na nepočišćenu etažu u više redova.

Na sl. 54 i 55 prikazana je shema razvoja rudarskih radova na etažama. Brojevima je označen redoslijed obrade pojedinih blokova. U početku se rudarski radovi vode po pružanju u granicama dužine poprečnog zahvata (bloka), a normalno na pružanje napreduju samo za veličinu koja obezbjeđuje produbljavanje površinskog kopa.



Sl. 54. Shema razvoja rudarskih radova na etaži pri eksploataciji s poprečnim blokovima (rimski brojevi označavaju redoslijed eksploatacije)



Sl. 55. Sheme razvoja rudarskih radova po pružanju pri eksploataciji s poprečnim blokovima

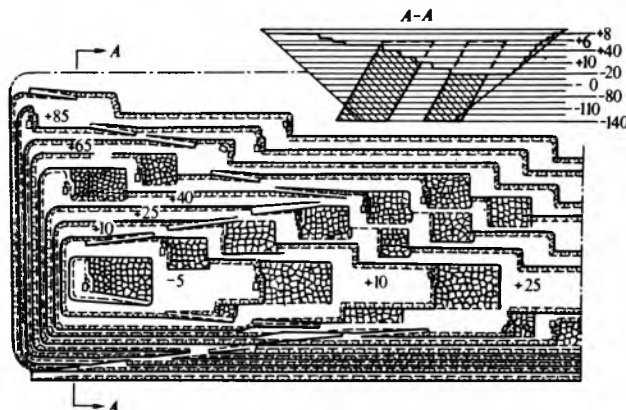
Sistem eksploatacije s poprečnim blokovima (sl. 56) jedna je od modifikacija opisanih sistema eksploatacije.

Jedna od radikalnijih i najnovijih metoda ujednačavanja (regulisanja) režima rudarskih radova kod svih sistema eksploatacije etapna je eksploatacija površinskog kopa.

Cilj je etapne eksploatacije površinskog kopa ostavljanje što većih količina otkrivke za kasnije periode rada, čime se



Sl. 53. Pogled na površinski kop s eksploatacijom s poprečnim blokovima



Sl. 56. Sistem eksploatacije s poprečnim blokovima

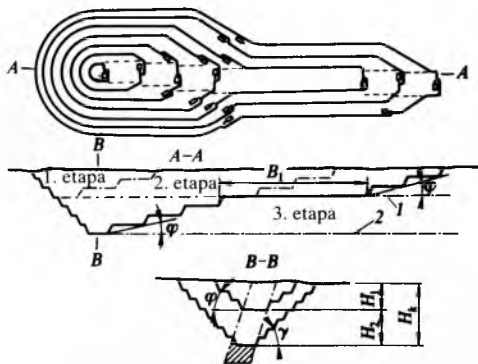
postize brža i jeftinija izgradnja, odnosno eksploatacija u prvim periodima, a konzervirana otkrivka kasnije se skida sa manjom cijenom koštanja na račun tehničkog progressa (progressa tehnike, tehnologije i organizacije).

Dvije su karakteristike etapne eksploatacije površinskog kopa uz primjenu sistema eksploatacije u poprečnim blokovima: 1) mogućnost podjele površinskog kopa ne samo u poprečnoj dimenziji, već i po pružanju površinskog kopa; 2) jednakost visine privremenih neradnih kosina po dubini površinskog kopa.

U slučaju podjele površinskog kopa na etape samo u poprečnoj dimenziji, privremena neradna kosina ostavlja se u krovini, ili u krovini i podini zajedno.

Ta shema etapne eksploatacije površinskog kopa je racionalna za relativno kratka ležišta.

Jedna od racionalnih shema etapne eksploatacije površinskog kopa na izduženim strmim ležištima uz primjenu sistema eksploatacije u poprečnim blokovima prikazana je na sl. 57. Na jednom od krajeva površinskog kopa započinje izgradnja osnovnog revira okruglog oblika s privremenim kosinama do dubine prve etape. Poslije postizanja dubine prve etape započinje proširenje po pružanju do dubine prve etape, a osnovni revir se i dalje produbljuje.



Sl. 57. Razvoj površinskog kopa s etapnom eksploatacijom. 1 dubina prve etape, 2 granična dubina

Treća etapa počinje od momenta postizanja granične dubine u osnovnom reviru i sastoji se u obradi donjih etaža dobivanja drugog revira s jednovremenom obradom gornjih etaža otkrivke druge etape u osnovnom reviru. U toj etapi moguće je formirati unutrašnje odlagalište u otkopanom prostoru osnovnog revira, što može znatno pojeftiniti radove.

Sistemi eksploatacije s kombinovanim transportom stijenskih masa. Kod dubokih površinskih kopova najperspektivniji je kombinovani transport otkrivke i mineralne sirovine, koji se obično sastoji od dvije ili tri kombinacije transporta. Savremeni razvoj transportnih sredstava omogućava izbor takvih kombinacija transporta u kojima se svaki oblik koristi u najpogodnijim uslovima.

Kombinovani transport obično se uvodi na dubokim površinskim kopovima metala, odnosno kod složenog rudnog tijela, gdje za radne etaže treba obezbijediti najmobilniji kamionski transport, premda, izuzetno, ima i drugih kombinacija.

Na otkopima je skoro po pravilu kamionski transport najmobilniji i odgovarajući za bagere kašikare ili utovarače, jer se uglavnom radi o stijenama koje je potrebno minirati.

Kako je kamionski transport obično u kombinaciji sa željezničkim ili tračnim transportom, odnosno izvozom sklopom, sistemima eksploatacije s kombinovanim transportom masa svojstvene su zakonitosti i postavke već opisanih sistema s kamionskim transportom masa.

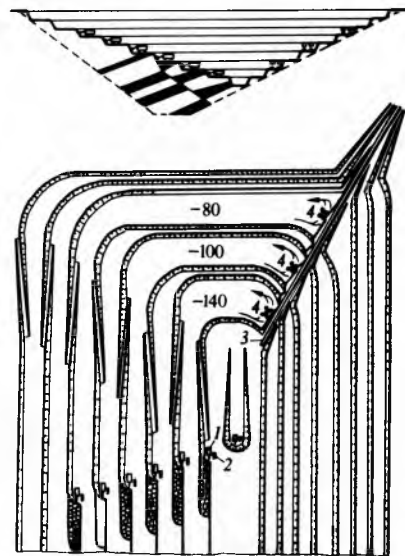
Sistemi eksploatacije s kombinacijom kamionskog i željezničkog transporta obično su uzdužni jednokrilni i dvokrilni i poprečni jednokrilni i dvokrilni, a primjenjuju se na velikim površinskim kopovima s većom dužinom transporta na vanjska odlagališta (>1,5...2 km) od izlaza iz površinskog kopa. Gornje se etaže otvaraju za željeznički transport

vanjskim ili unutrašnjim usjecima s pravom trasom ili izvlačnjacima.

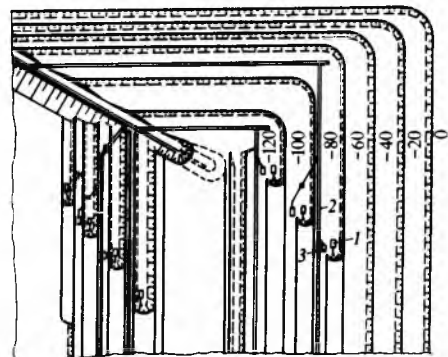
Donje etaže otvaraju se stacionarnim, polustacionarnim ili nestacionarnim kamionskim serpentinama. Ako se donje etaže otvaraju nestacionarnim serpentinama po radnoj kosini površinskog kopa, onda se to izvodi s dvokrilnim sistemom eksploatacije na tom dijelu, što intenzivira produbljivanje površinskog kopa.

Dvokrilni uzdužni sistem eksploatacije primjenjuje se na strmim ležištima. Prije prelaska na kamionski transport, nestacionarni kolosijeci zauzimaju stacionaran položaj u podinskoj završnoj kosini, a izuzetno i polustacionaran.

Sistemi eksploatacije s kombinacijom kamionskog i tračnog transporta su skoro identični sistemima s kamionskim transportom masa, a primjenjuju se za vrlo duboke površinske kopove (50...550 m) s ograničenim dimenzijama u planu (sl. 58 i 59).



Sl. 58. Uzdužni jednokrilni sistem eksploatacije s kombinovanim kamionsko-tračnim transportom. 1 bager, 2 kamion, 3 transportna traka, 4 polustacionarna drobilica



Sl. 59. Uzdužni jednokrilni sistem eksploatacije s pokretnim drobilicama, tračnim transportom i kosim etažama za dobivanje. 1 bager, 2 transportna traka, 3 pokretna drobilica

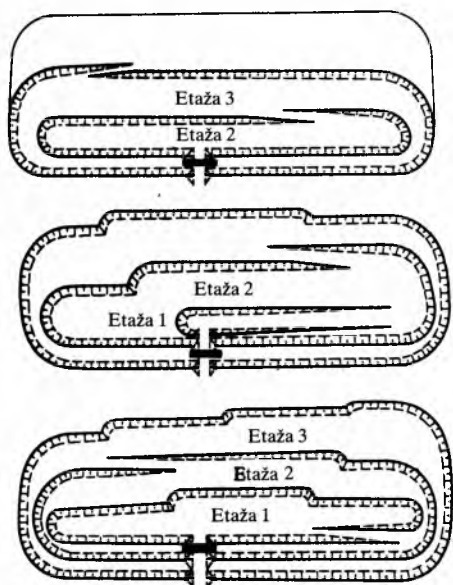
Parametri sistema eksploatacije (visina etaže, dužina bloka, shema razvoja fronta radova itd.) računaju se kao i za sistem eksploatacije s kamionskim transportom masa.

Posebne karakteristike sistema s kombinovanim kamionsko-tračnim i kamionsko-skipnim transportom su tzv. koncentracijski horizonti, odnosno pretovarni horizonti (mjesto) za nekoliko radnih etaža i niz drugih osobenosti, kao što su: priprema nove etaže, proračun optimalnog koraka (visine) prenosa i mjesta smještaja koncentracionog horizonta u grupi etaža i sl.

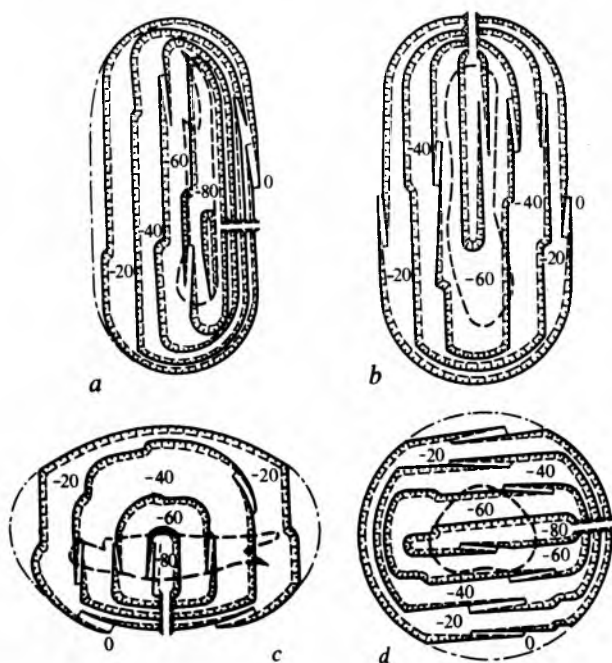
Otvaranjem i pripremom nižih etaža (produbljavanjem površinskog kopa) vrši se i priprema novog koncentracionog horizonta, da bi se poslije njegovog završetka izvršio i prenos pretovarnog uređaja (drobilice ili bunkera za punjenje tračnog transportera ili skipa).

Priprema novih etaža sastoji se u izradi silaznih i otkopnih usjeka, napredovanju otkopnog fronta (jednog ili dva, zavisno od toga da li je jednokrilni ili dvokrilni) na rastojanje potrebno za normalno obavljanje pretovara, produženju strmog usjeka i prenosu pretovarnog uređaja (sl. 60).

Sistemi eksploatacije s kombinacijom kamionskog transporta i izvoza skipom ili košem takođe su slični onima kod



Sl. 60. Priprema nove etaže pri kombinaciji kamionskog transporta s izvozom tračnim transporterom ili skipom



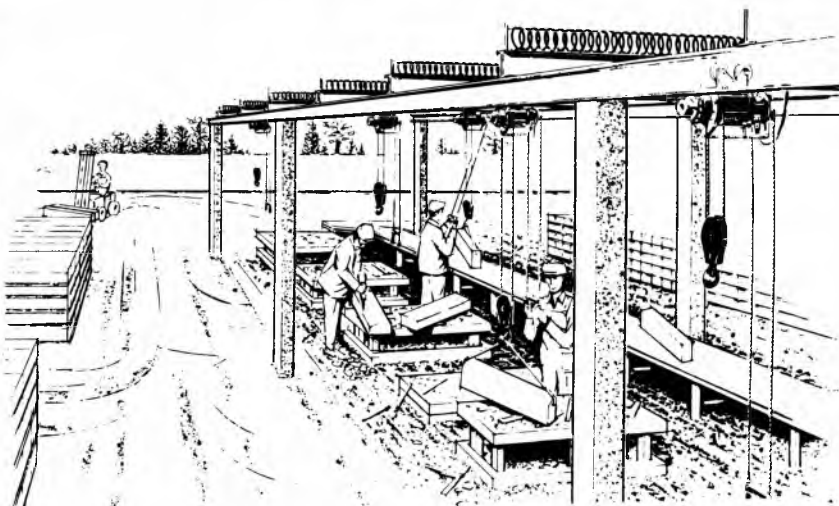
Sl. 61. Sistemi eksploatacije s kombinacijom kamionskog transporta i izvoza skipom

kamionskog transporta masa, a izabiru se u skladu sa konkretnim prirodnim uslovima, vrstom izvoza, otvaranjem i pripremom etaža, kalendarskim rasporedom otkrivke i dobivanja. Uzdužni jednokrilni sistem eksploatacije racionalan je za kosa ležišta izdužena po pružanju (sl. 61a). Otvaranje površinskog kopa vrši se strmim usjecima po podini sa stacionarnim položajem koncentracionih horizonta (pretovarnih uređaja).

Uzdužni dvokrilni i poprečni dvokrilni sistem racionalni su za strma ležišta. Kriterijumi izbora jednog od tih sistema isti su kao za sisteme s kamionskim transportom masa.

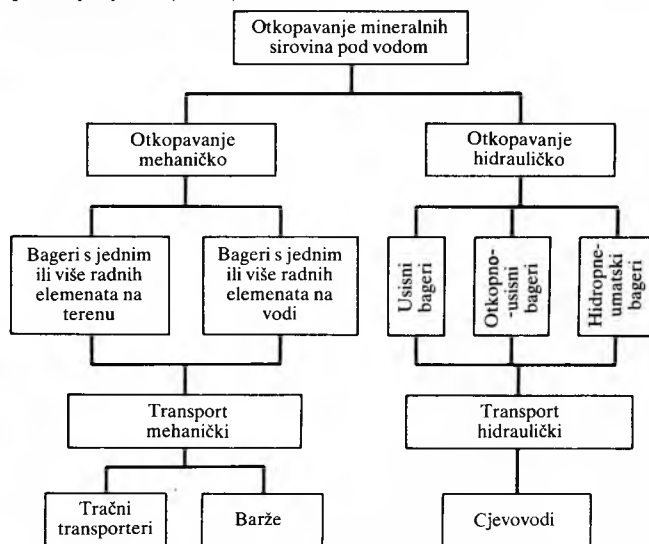
Strmi usjeci na čelnoj završnoj kosini primjenjuju se kod uzdužnog dvokrilnog sistema (sl. 61b), a smještaj strmih usjeka na uzdužnoj završnoj kosini kod poprečnog dvokrilnog sistema eksploatacije (sl. 61c).

Eksploatacija kamenih blokova. Za razliku od opisanih sistema eksploatacije, eksploatacija kamenih blokova (ukrasni kamen, materijal za kocku i ivičnjake i dr.) traži posebne postupke. Za takvu eksploataciju postoje tri jasno izdvojene faze: odvajanje blokova iz samonikle mase, sječenje blokova na manje dimenzije i transport blokova. Od sistema za dobijanje blokova najviše se primjenjuju pneumatski perfo-



Sl. 62. Savremeni plato za izradu kocki i ivičnjaka

ratori, sistemi s helikoidalnim užetom i sistemi s kombinovanim mašinama za horizontalno i vertikalno sječenje. Neke sirovine, npr. granit, porfir, dacit i sl., eksploatišu se i miniranjem, i to obično crnim barutom. Sekundarna obrada blokova obavlja se neposredno na radilištu ili u posebnim postrojenjima (sl. 62).



Sl. 63. Vrste transporta i bagera za eksploataciju podvodnim kopom

Eksploatacija hidromehanizacijom. Sistemi eksploatacije hidromehanizacijom upotrebljavaju se za skidanje otkrivke, za eksploataciju pijeskova i šljunkova, dakle nanosnih ležišta. Da bi se mogli primijeniti, potrebno je da se materijal može otkopavati kinetičkom energijom vode, da se raspolaže dovoljnom količinom vode i da se osigura transport. U Jugoslaviji takav sistem površinske eksploatacije nije primjenjivan i pored postojanja uslova za to.

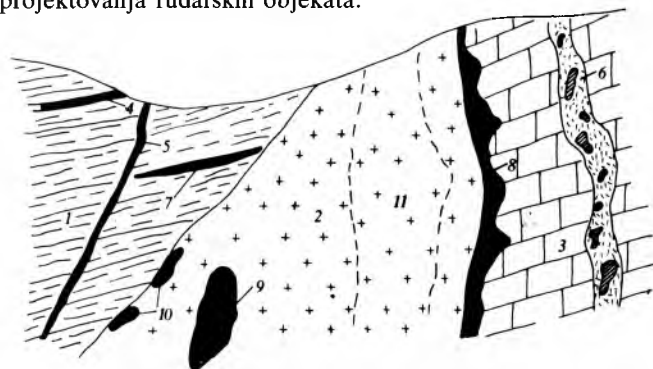
Podvodna eksploatacija. Eksploatacija mineralnih sirovina pod vodom sve se više razvija. Tome doprinosi adekvatna oprema za rad pod vodom. U Jugoslaviji se takva rudarska eksploatacija i dalje pretežno primjenjuje za dobijanje pjeskovitog i šljunkovitog materijala iz prirodnih ili vještačkih vodenih akumulacija. Razlikuje se mehaničko i hidrauličko otkopavanje, pri čemu za svaki sistem postoji karakteristična oprema za otkopavanje i transport (sl. 63).

LIT.: M. Simonović, Tehnika površinskog otkopavanja, I–III. Rudarski institut, Beograd 1967–68. – E. Pfeider, Surface Mining. AIME, New York 1968. – V. Robljek, Površinska eksploatacija mineralnih sirovina. Rudarski institut, Tuzla 1970. – A. И. Арсентьев, Определение производительности и границ карьеров. Недра, Москва 1970. – W. Kolkiewicz, Zastosowanie maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym. Wyd. Slask, Katowice 1974. – Н. В. Мельников, Краткий справочник по открытым горным работам. Недра, Москва 1978. – М. Г. Новожилов, Теория и практика открытой разработки горизонтальных месторождений. Недра, Москва 1978. – Н. Я. Ренин, Подготовка и экскавация вскрышных пород угольных разрезов. Недра, Москва 1978. – В. В. Ржевский, Процессы открытых горных работ. Недра, Москва 1978. – K. Szrodka, Ed., Tagebautechnik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1979. – В. В. Ржевский, Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Недра, Москва 1980. – А. И. Арсентьев, Вскрытие и системы разработки карьерных полей. Недра, Москва 1981. – R. Simić, N. Popović, Sistemi otvaranja i eksploatacije na površinskim kopovima. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 1981. – J. Kun, Površinska eksploatacija lignita, I. Rudarski institut, Beograd 1981. – SME Mining Engineering Handbook. AIME, New York 1983. – N. Popović, Naučne osnove projektovanja površinskih kopova. NIRO Zajednica, NIŠRO Oslobođenje, Sarajevo 1984.

N. Popović R. Simić

PODZEMNO OTKOPAVANJE NESLOJEVITIH LEŽIŠTA

Neslojevita ležišta mineralnih sirovina karakteristična su po nepravilnim oblicima (sl. 1), više-manje nepostojanom pravcu pružanja i pada, te, najčešće, po neravnomernoj raspodeli korisnog minerala (ili korisnih minerala) u rudnom telu. U neslojevita ležišta spadaju gotovo sva nalazišta metalnih ruda i mnoga nalazišta nemetalnih sirovina. Neslojevita se ležišta mogu sistematizovati s različitih aspekata. Ovde će biti reči o karakteristikama rudnih ležišta sa stanovišta projektovanja rudarskih objekata.



Sl. 1. Shematski prikaz oblika rudnih ležišta. 1 škriljac, 2 andezit, 3 krečnjak, 4 slojevito ležište, 5 žila, 6 štokverk, 7 sočivo, 8 rudna cev, 9 štok, 10 gnezdo, 11 rudnjena masa

Izbor metode otkopavanja. Način otvaranja i otkopavanja ležišta zavisi od oblika ležišta, njegove veličine, uslova zaleganja, fizičko-mehaničkih svojstava rude i pratećih stena, hidroloških prilika, osetljivosti površine na rudarske radove, mineraloško-hemijskog sastava rude, načina raspodele minerala i vrednosti sirovine.

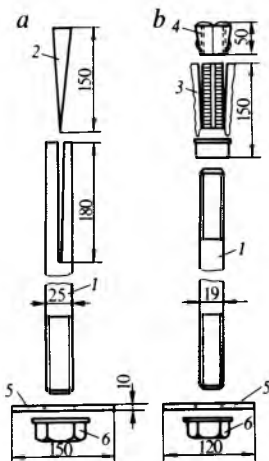
Rudna tela nepravilnog oblika obično se moraju otkopavati nekom metodom sa zasipavanjem, a veličina je rudnog tela često odlučujući faktor, jer odražava količinu rudnih rezervi.

Važna je i *moćnost*, tj. debljina rudnog tela koja se u neslojevitih ležišta obično razvrstava u pet grupa: vrlo moćna rudna tela deblja su od 20 m, moćna imaju debljinu između 20 i 5 m, srednja između 5 i 2 m, tanka između 2 i 0,8 m, a vrlo tanka su tanja od 0,8 m. Od uslova zaleganja presudna su dubina ležišta ispod površine, nagibni ugao, karakter kontakta i tektonske prilike. U ležišta koja zaležu više od 1000–1500 m javlja se problem povećanih pritisaka i povećane temperature. Na većim dubinama treba izbegavati metode otvorenih otkopa sa ostavljanjem sigurnosnih stubova, a treba primeniti metode sa zasipavanjem. Prema uglu nagiba, ležišta mogu biti horizontalna, blagonagnuta s nagibom od 0–30°, strmija s nagibom od 30–45°, strma od 45–60° i jako strma s nagibom većim od 60°. Nagibni je ugao važan i za korišćenje gravitacije za otpremu rude s otkopa. Karakter kontakta između rude i jalovih bokova ima znatnog uticaja na metode otkopavanja. Kontakt može da bude jasno izražen, a može biti i nejasan, može da bude pravilan ili nepravilan, srašćen ili razdvojen u obliku pukotina ispunjenih nekom mekšom masom, npr. glinom. Rudna tela s jasnim kontaktom omogućuju primenu bilo koje metode ukoliko su ispunjeni i ostali uslovi za to. Kad je kontakt nepravilan, obično se primenjuju metode sa zasipavanjem. U pogledu tektonike ležišta razlikuje se primarna i sekundarna tektonika. Primarna se ogleda u raspucanosti rude i jalovih bokova iz vremena formiranja ležišta, a sekundarna je posledica poremećaja ležišta posle njegovog formiranja. I primarna i sekundarna tektonika znatno otežavaju sve rudarske radove. Od fizičko-mehaničkih svojstava najvažnija su čvrstoća i stabilnost stena. Ta se svojstva ispituju na uzorcima uzetim s raznih mesta, ali je potrebno snimiti i proučiti i strukturu čitavog stenskog masiva, tj. pravce i nagibe pukotina. Pored klasifikacije stena po čvrstoći, tvrdoći, lomljivosti i dr., pri izboru metode otkopavanja primenjuje se i opisna metoda klasifikacije stena u pet grupa po njihovoj stabilnosti, tj. sposobnosti održavanja jamskih prostorija na određenom rasponu i na određenoj površini. Po toj su klasifikaciji *vrló nestabilne stene* one koje onemogućuju izradu prostorija bez primene podgrade; to su rastresene i sipke mase na kakve se retko nailazi u rudnim ležištima. *Nestabilne stene* omogućuju izradu prostorija manjeg raspona, ali se u toku napredovanja mora podgrađivati. *Stene srednje stabilnosti* dozvoljavaju izradu prostorija i većeg raspona i na većoj površini, ali s podgrađivanjem ukoliko prostorija ostaje duže otvorena. *Stabilne stene* omogućuju izradu prostorija većeg raspona i veće površine, s podgrađivanjem samo na nekim mestima. *Vrlo stabilne stene* omogućuju izradu prostorija velikog raspona i velike površine koje mogu ostati otvorene i godinama bez podgrade i zarušavanja. Rudna se ležišta najčešće nalaze u stenskim masama treće i četvrte grupe, tj. u srednjostabilnim i stabilnim stenama. Od fizičko-mehaničkih svojstava, prema tome, zavise raspon otkopa, način osiguranja i dimenzije sigurnosnih stubova. Od hidroloških prilika treba poznavati količine i svojstva podzemne vode, a naročito njen uticaj na eventualno prisutne plastične stene kao što su gline i sl. Vodonošne stene i stajaće vode isključuju primenu metoda sa zarušavanjem. Tada je potrebno primeniti metode s hidraulično-cementnim zasipavanjem ili metode s ostavljanjem stalnih sigurnosnih stubova. Te se metode moraju primeniti i onda kada se iznad ležišta nalaze važni objekti. Mineraloško-hemijski sastav značajan je osobito s obzirom na prisustvo piritu i pirotina: sadrže li ti minerali više od 40% sumpora, podležu oksidaciji pa i samozapaljenju. Za takve se rude ne mogu primeniti magazinske ili masovne metode sa zarušavanjem, već samo neke sa zasipavanjem. Neravnomerna raspodela rudnih minerala, s većim jalovim partijama, ometa normalan tok otkopavanja. Tu treba dati prednost metodama sa zasipavanjem. Komercijalna vrednost sirovine može biti značajna osobito za mala ležišta, ali i generalno za sirovine od posebnog značenja (nuklearne i sl.). Za vrednije rude prednost treba dati metodama kojima se postižu veća iskorišćenja, a ne masovnim metodama, uz veće gubitke korisne supstance.

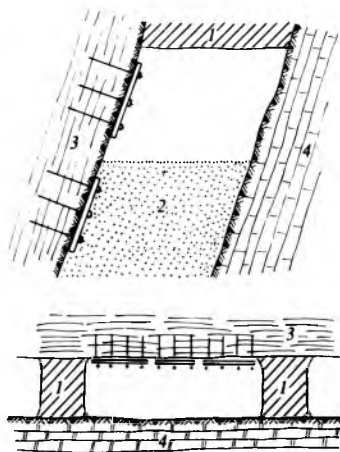
U načelu, najuspešnija će metoda biti ona koja daje najveću proizvodnju uz najviše korisne supstance u najkraćem vremenu, uz najmanji utrošak energije i materijala, pri potpunoj sigurnosti za zaposlene, a bez nepovoljnih posledica za dalji razvoj rudnika.

Osnovne operacije pri otkopavanju. U osnovne operacije pri otkopavanju spada bušenje i miniranje, utovar i odvoz rude te osiguranje otkopa. Rudarsko miniranje opisano je u posebnoj članku (v. *Miniranje*, TE 8, str. 574), a utovar i transport u članku *Rudarstvo, Strojari i transport*. Ipak, s obzirom na otkopni transport, tj. na utovar i odvoz rude s radilišta do glavnog izvoznog hodnika, treba reći da se u zavisnosti od metode otkopavanja, prostornog položaja rudnog tela i drugih karakteristika ležišta, može primeniti ručna, gravitacijska i mehanizovana otprema rude. Ručni utovar vrlo je redak, ali se za mala i uzana rudna tela još uvek primenjuje. Tovari se lopatama u ručna kolica s jednim točkom ili u male vagonete zapremine od 0,3...0,5 m³. Gravitacijska otprema rude dolazi u obzir za jako strma ležišta (strmija od 60°), i to pod uslovom da ruda nije vlažna i da nema sitneži. Sila gravitacije koristi se direktno ili indirektno. Pri direktnom se načinu izdrobljena ruda ispušta u vagonete ili trake preko sipki, a pri indirektnom se ruda prethodno mora utovariti, a zatim prevesti do rudnih sipki.

Osiguranje otkopa postiže se podgrađivanjem. To je potrebno jer se pri izvođenju jamskih radova usled jamskog pritiska deformišu jamske prostorije. U članku *Rudarstvo, Mehanika stijena* detaljnije je opisana raspodela naprezanja oko otkopanih prostorija. Prema najviše prihvaćenoj teoriji svoda, iznad krova prostorije delovanjem višeležećih masa obrazuje se rastreseno jezgro u obliku svoda koji se naziva svodom prirodne ravnoteže. Labava masa jezgra ima tendenciju da padne, a da bi se održala treba je podgrađivati. Prema tome, podgrada će biti opterećena samo težinom jezgra labave mase. Otkop se osigurava raznim vrstama podgrade, sigurnosnim stubovima i zasipnim materijalom. Negde se to osigurava još uvek *drvenom podgradom*. Kako je drvena građa vrlo skupa i nedovoljno otporna na jamski pritisak, tamo gde postoje uslovi, zamenjuje se metalnom podgradom (čeličnim stupcima i sidrima). Danas se za osiguranje stropa i bokova otkopa sve više primenjuje tzv. *višeća podgrada* koja se sastoji od sidara različitih konstrukcija. Sidro se sastoji od čelične šipke dužine 1...3 m, prečnika 18...25 mm, glave na gornjem kraju šipke te navrtke i podložne pločice na donjem kraju. Osiguranje sidrima izvodi se tako što se u bušotinu utiskuje sidro koje se zatim navrtkom zateže. Glava se sidra u višem delu čvrste mase zaglavi i tako sprečava obrušavanje niže labave mase. Slika 2 prikazuje dva sidra, sa klinastom i čaurastom glavom. Sidra se mogu učvrstiti i brzovezujućim cementnim rastvorom, a u poslednje vreme epoksidnim



Sl. 2. Sidra s klinastom (a) i čaurastom glavom (b). 1 šipka, 2 klin, 3 čaura, 4 konusni umetak, 5 podložna ploča, 6 navrtka



Sl. 3. Osiguranje otkopa sidrima. 1 ruda, 2 zasip, 3 krovinske stene, 4 podinske stene

smolama. Na lošijim mestima stropa i bokova postavlja se žičana mreža koja se učvršćuje podložnim pločicama sidra. Ponekad se radi boljeg učvršćivanja krova ili bokova, dva do tri sidra povezuju drvenim gredicama ili čeličnim rebrastim trakama (sl. 3).

Kod mnogih metoda otkopavanja ostavljaju se *sigurnosni stubovi* radi održavanja krova i bokova, ali tada ruda mora biti čvrsta. Razlikuju se sledeće vrste sigurnosnih stubova: *zaštitni stubovi* za zaštitu izvoznih i ventilacijskih okana te važnih objekata na površini; *potporni stubovi* za zaštitu krovinih naslaga u većim horizontalnim i blagonagnutim ležištima; *trakasti stubovi* u obliku trake, odnosno zida, takode za zaštitu krovinih naslaga od zarušavanja; *međukomorni stubovi* ostavljeni u strmim ležištima poprečno na pružanje ležišta između susednih komora od boka do boka za zaštitu bokova od zarušavanja; *horizontalski stubovi* iznad i ispod izvoznih i ventilacijskih hodnika radi njihove zaštite. Dimenzije stubova zavise od fizičko-mehaničkih svojstava rude i povlatnih stena, raspona otkopa i dubine slojeva.

I zasipni je materijal sredstvo za osiguranje bokova od zarušavanja. On ujedno služi kao podloga za razne operacije u toku otkopavanja. I minirana ruda, kad se radi magazinskim metodama, služi kao sredstvo za osiguranje bokova.

Tehničko-ekonomski pokazatelji

Gubici i osiromašenje rude važni su pokazatelji koje treba uzeti u obzir pri izboru metode otkopavanja. Iznos dozvoljenih gubitaka rude prvenstveno zavisi od vrednosti rude. Ako ruda ima veliku vrednost, potrebno je izabrati metodu kojom će se postići što manji gubici. Ako je, pak, ruda siromašna, gubici mogu biti veći, ali osiromašenje rude mora da bude što manje.

Gubitak rude je onaj deo rude iz rudnog bloka ili dela ležišta koji nije bio iskorišćen u toku iskopavanja ili se iz bilo kojih razloga nije mogao otkopati. Sl. 4a prikazuje blok rude s rudnim rezervama T , koji se sastoji od proizvedene rude T_c i gubitka rude T_g , pa je

$$T = T_c + T_g \quad (1)$$

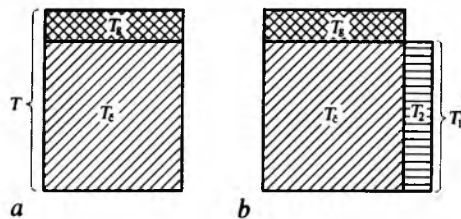
Gubitak rude izražava se *koeficijentom gubitka rude*

$$g_r = \frac{T_g}{T} \quad (2)$$

ili *koeficijentom iskorišćenja rude*

$$i_r = \frac{T_c}{T} \quad (3)$$

U praksi se više primenjuje koeficijent iskorišćenja rude.



Sl. 4. Shematski prikaz otkopnog bloka. a bez jalovine, b s jalovinom, T_c proizvedena ruda, T_g gubitak rude, T_2 jalovina, T rudne rezerve, T_1 rovna ruda

Navedeni izrazi vrede uz pretpostavku da i proizvedena ruda i gubitak rude imaju isti udeo metala m . U toku otkopavanja, međutim, otkopava se i mala količina jalovine T_2 (sl. 4b), pa se dobiva količina T_1 koja se naziva *rovnom rudom* i koja iznosi

$$T_1 = T_c + T_2 \quad (4)$$

Ako je udeo metala u rovnoj rudi m_1 , a udeo metala u jalovini m_2 , te ako se uzmu u obzir jednačine (1) i (3), mogu se pomoću jednačine (4) odrediti količine metala pomoću izraza

$$m_1 T_1 = m_i T + m_2 (T_1 - i_r T) \quad (5)$$

odakle se dobiva

$$i_r = \frac{(m_1 - m_2) T_1}{(m - m_2) T} \quad (6)$$

To je *istinsko iskorišćenje* rude ili metala. Ako jalovina ne sadrži metala ($m_2 = 0$), izraz (6) prelazi u oblik

$$i_r = \frac{m_1 T_1}{m T} \quad (7)$$

Taj se koeficijent naziva *vidnim ili ostvarenim iskorišćenjem*.

Osiromašenje rude odnos je količine jalovine koja se nalazi u rovnoj rudi i ukupno iskopane rovne rude. Taj se odnos naziva *koeficijentom osiromašenja*

$$o_r = \frac{T_2}{T_1} \quad (8)$$

Osiromašenje se može izraziti pomoću udelâ metala, pa je

$$o_r = \frac{m - m_1}{m - m_2} \quad (9)$$

koje se naziva *koeficijentom istinskog osiromašenja*. Ako, međutim, u jalovini nema metala ($m_2 = 0$), dobiva se koeficijent *vidnog ili ostvarenog osiromašenja*

$$o_r = \frac{m - m_1}{m} \quad (10)$$

Intenzivnost i produktivnost metode otkopavanja izražava se *koeficijentom intenzivnosti* (K_i), koji je odnos proizvodnje iz nekog ležišta, bloka ili otkopa u toku godine (T_1) i aktivne površine otkopa (P), pa je

$$K_i = \frac{T_1}{P} \quad (11)$$

Pomoću jednačine (10), a uzimajući u obzir vrednosti T_2 i T_2 , moguće je odrediti godišnji kapacitet rudnika pomoću jednačine

$$T_1 = \frac{i_r T}{1 - o_r} \quad (12)$$

Rudne rezerve u nekom bloku iznose

$$T = h \varrho P, \quad (13)$$

gde je h visina bloka ili visina otkopavanja, a ϱ gustina rude. Godišnji je kapacitet rudnika

$$T_1 = \frac{h \varrho i_r P}{1 - o_r} \quad (14)$$

pa je koeficijent intenzivnosti (11)

$$K_i = \frac{h \varrho i_r}{1 - o_r} \quad (15)$$

Kao što se vidi, koeficijent intenzivnosti zavisi od visine otkopavanja, gustine rude, iskorišćenja i osiromašenja rude, pa ne može da služi kao osnov za upoređenje intenzivnosti otkopavanja dvaju ležišta. Bolje merilo brzine otkopavanja daje visina otkopavanja ostvarena tokom godine. Ta visina, prema (15), iznosi

$$h = \frac{1 - o_r}{\varrho i_r} K_i \quad (16)$$

Visina je otkopavanja u toku godine značajna za određivanje vremena eksploatacije nekog horizonta, da bi se na vreme pripremio novi horizont.

Koeficijent pripreme predstavlja odnos pripremnih radova potrebnih za promatranu metodu otkopavanja i ukupne količine rude koja će se proizvesti iz nekog otkopa ili bloka koji se nalazi između dva horizonta. Količina rude između dva horizonta iznosi

$$T_1 = \frac{\varrho i_r H P}{1 - o_r} \quad (17)$$

gde je H visina horizonta. Ako je P , obim pripremnih radova u metrima, koeficijent pripreme iznosi (mm/t):

$$k_p = \frac{1000 P_r}{T_1} = \frac{1000 P_r (1 - o_r)}{\varrho i_r H P} \quad (18)$$

Koeficijent pripreme posebno se računa za hodnike, a posebno za uskope i druge prostorije.

Učinci, normativi i troškovi otkopavanja. Ocena produktivnosti rada u podzemnoj eksploataciji izražava se učinkom u tonama po osmočasovnoj nadnici. U podzemnom radu izračunavaju se učinci koji predstavljaju produktivnost rada izraženu brojem nadnica, a to su: *otkopni*, na bazi svih nadnica u procesu otkopavanja; *jamski*, na bazi nadnica svih radnika zaposlenih u podzemnom radu; *rudnički*, na bazi nadnica svih radnika zaposlenih u podzemnom i površinskom radu.

Normativi označavaju potreban broj nadnica, količine materijalâ i električne energije za proizvodnju tone rude. Normativi se obračunavaju za različite proizvodne faze i procese, a zatim, zbirno, za ukupnu proizvodnju rudnika.

Normativi radne snage recipročna su vrednost učinka, tj. broj nadnica na tonu rude. Izračunavaju se za različite radne procese, npr. za pripremu, otkopavanje, transport i dr., i to prema kvalifikacijama radnika u tom procesu.

U normative materijala uključuje se glavni potrošni materijal, a sitan se materijal obračunava dodavanjem ~10% na troškove glavnog materijala.

Normativ električne energije prikazuje potrošnju električne energije po toni rude i po odeljenjima rudnika. Pomoću normativa, a uzimajući u obzir cene pojedinih materijala i električne energije te bruto lične dohotke radnika, određuju se troškovi otkopavanja, jamski troškovi i ukupni troškovi rudnika. U jamske troškove proizvodnje, pored troškova otkopavanja, uključuju se troškovi ostalih jamskih procesa (transport, izvoz, ventilacija, održavanje, troškovi uslužnih odeljenja), amortizacija, režija jame i pripadajući deo upravne režije. U troškove rudnika uključuju se troškovi svih pogona i odeljenja, uključujući režiju, amortizaciju rudnika, troškove održavanja rudnog blaga, troškove upravne režije i ostale zakonom predviđene troškove.

METODE OTKOPAVANJA

Metode otkopavanja obuhvataju pripremu i otkopavanje nekog bloka ili dela ležišta. Otkopavanje treba da se odvija prema redosledu koji se naziva *tehnološkim procesom otkopavanja*. Taj proces obuhvata sledeće operacije: bušenje, miniranje, usitnjavanje rude, propuštanje, utovar i izvoz rude, a pored toga mogu biti potrebne i operacije osiguranja, zasipavanja ili zarušavanja otkopa.

Sve metode otkopavanja mogu da se grupišu u nekoliko osnovnih grupa, a klasifikacija pojedinih grupa zasniva se na principu održavanja otkopa u toku i posle otkopavanja. Kako otkop može biti aktivan na više načina, može se načelno reći: sve metode prema kojima se prostori održavaju na isti način, ili se nakon otkopavanja zarušavaju prema istim principima, a tehnološki se proces odvija prema istom ili sličnom postupku, mogu se svrstati u istu grupu. Svaka glavna grupa ima više podgrupa i modifikacija koje zadržavaju osnovne karakteristike glavne grupe.

U savremenoj klasifikaciji postoji osam glavnih grupa metoda otkopavanja neslojevitih ležišta.

Metode otvorenih otkopa primenjuju se za ležišta s čvrstom rudom i čvrstim bokovima. Otkopi ostaju otvoreni, a krov i bokovi održavaju se stalnim ili privremenim sigurnosnim stubovima od rude. Privremeni se mogu naknadno otkopavati, a stalni ostaju radi zaštite površine od zarušavanja.

Magazinske metode primenjuju se za ležišta sa strmim padom, čvrstom rudom i čvrstim bokovima. Otkopi se ispunjavaju miniranim rudom koja se po završetku otkopavanja odvozi.

Metode sa zasipavanjem otkopanih prostora primenjuju se za ležišta sa srednje čvrstom rudom i sa slabijim bokovima. Zasipni materijal služi za održavanje bokova; slabija mesta

krova i bokova osiguravaju se podgradom, a veća prostranstva sigurnosnim stubovima. Primenjuju se za bogate i vredne rude jer su troškovi visoki.

Metode s podgrađivanjem i zasipavanjem otkopa primenjuju se za ležišta s nedovoljno čvrstom rudom i slabim bokovima. Otkopi manjih raspona osiguravaju se podgradom, a zatim se zasipavaju. I te se metode primenjuju za bogate i vredne rude zbog visokih troškova.

Metode s podgrađivanjem otvorenih otkopa primenjuju se za žilna i pločasta ležišta moćnosti do 3 m, s umereno čvrstom rudom i slabim bokovima. Primenjuju se ređe.

Metode sa zarušavanjem krovinskih stena primenjuju se za ležišta sa srednje čvrstom rudom i slabim bokovima. Otkopi se manjih raspona podgrađuju i nakon otkopavanja planski se zarušavaju. I te se metode ređe primenjuju.

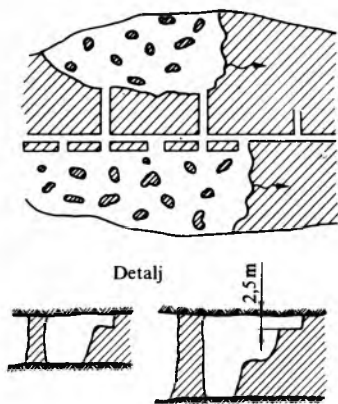
Metode sa zarušavanjem rude i jalovih stena primenjuju se uglavnom za ležišta većeg prostranstva, a neke modifikacije i za ležišta strmog pada i manje moćnosti.

Kombinovane metode primenjuju se za ležišta većeg prostranstva. Otkopava se u dve faze: prvo se otkopavaju komore, a zatim sigurnosni stubovi, koji su približno jednakih dimenzija kao komore.

Metode otvorenih otkopa

Razlikuje se frontalno, komorno-stubno i podetažno otkopavanje.

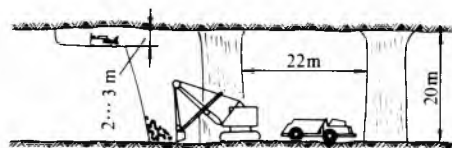
Frontalno otkopavanje provodi se na širokom otkopnom frontu po celoj moćnosti ležišta, ali moćnost ne sme biti veća od 3...4 m. Ukoliko je moćnost veća, otkopava se u stepenicama. Metode se primenjuju za horizontalna i blagonagnuta ležišta pločastog i sočivastog oblika. Strop se osigurava neregularnim stubovima siromašnije rude ili jalovih uključanja. Na sl. 5 prikazano je otkopavanje horizontalnog ležišta manje moćnosti, a u poprečnom preseku vidi se način stepenastog otkopavanja moćnijih ležišta. Oborena ruda tovari se utovarnim lopatama ili bagerima, što je zavisno od moćnosti ležišta. Po potrebi, krov se osigurava sidrenjem. Te se metode primenjuju i za ležišta nagnuta do 30° s moćnošću manjom od 1,5...4 m. Oborena ruda prevlači se skreperima do izvoznog hodnika direktno u vagonete.



Sl. 5. Frontalna metoda otkopavanja horizontalnog ležišta

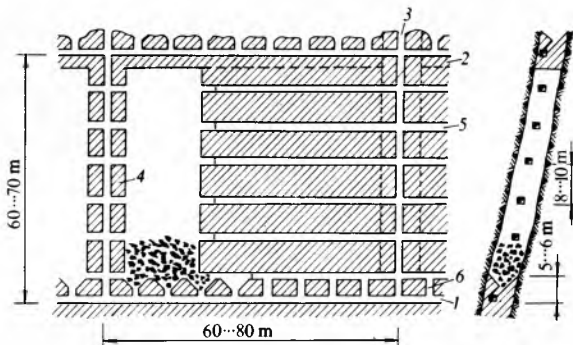
Komorno-stubne metode primenjuju se za otkopavanje horizontalnih i nagnutih ležišta s padom do 40°, većeg prostranstva, moćnosti od 2...30 m, pa i više. Otkopi imaju oblik pravilnih međusobno paralelnih komora među kojima se ostavljaju sigurnosni stubovi. U tim stubovima ostaje 15...30% rude, a ponekad i do 50%. Zato se te metode primenjuju za manje vredne rude i za ležišta nemetala kao što su fosforiti, soli, uljni škriljci i sl. Sigurnosni se stubovi delimično otkopavaju ako je ruda vrednija i ako se površina sme zarušavati. Širina je komora 5...6 ili 15...30 m, a stubova 3...5 ili 10...15 m, što zavisi od fizičko-mehaničkih svojstava rude i stena. Slika 6 prikazuje metodu otkopavanja u moćnom horizontalnom ležištu olovno-cinkove rude u Leiswalu u

Švedskoj. Otkopava se tako što se pod krov komore preko cele širine (22 m) radi zasek visine ~2...3 m, pa se donji deo ležišta minira kao jedna stepenica. Ruda se bagerom s lopatom volumena 0,6 m³ tovari u velika jamska vozila, kojima se prevozi do izvoznog okna. Slična se metoda primenjuje i za otkopavanje nagnutih ležišta, samo što se ruda skreperima prevlači do sipke.



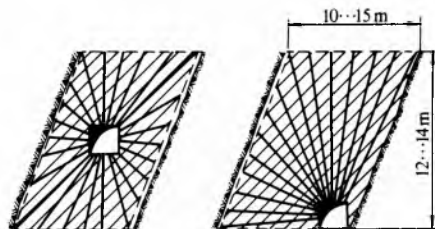
Sl. 6. Komorno-stubna metoda otkopavanja

Podetažne metode otkopavanja primenjuju se za ležišta žilnog, sočivastog i pločastog oblika sa strmim padom većim od 60°, moćnosti od 2...30 m pa i više. Bušenje i miniranje izvodi se iz podetažnih hodnika, tako da radnici ne ulaze u otvorene prostore. Ruda gravitacijski pada u levkaste sipke iz kojih se utovaruje u vagonete. Na sl. 7 prikazano je otkopavanje tom metodom ležišta srednje moćnosti sa strmim padom. Otkopi se za ležišta do moćnosti od oko 20 m razvrstavaju po pravcu pružanja, a za moćnija ležišta poprečno na pravac pružanja. Ležište na sl. 7 deli se izvoznim hodnikom i ranije izrađenim ventilacijskim hodnikom i uskopima na blokove dužine 60...80 m i visine 60...70 m. Iz tih uskopa, koji se nalaze u sigurnosnim stubovima, izrađuju se na odstojanju od 8...10 m podetažni hodnici. Prvi podetažni hodnik nalazi se na 5...6 m iznad nivoa horizonta i njime se od sigurnosnog stuba postepeno horizontalno podseca blok preko cele širine ležišta. Kad se podsecanjem odmakne, iz izvoznog hodnika se na svakih 6...8 m probijaju kraći uskopi koji se proširuju u obliku levka, pa se formiraju levkaste sipke za otpremu rude.



Sl. 7. Podetažna metoda otkopavanja po pružanju ležišta. 1 izvozni hodnik, 2 ventilacijski hodnik, 3 uskop, 4 sigurnosni stubovi, 5 podetažni hodnici, 6 kraći uskop u obliku levka

U užim ležištima podetažni hodnici proširuju se od boka do boka, a zatim se buše minske bušotine u redovima naviše i naniže. U moćnim ležištima iz podetažnih hodnika buše se i lepezaste bušotine (sl. 8). Redovi bušotina unapred se buše, a minira se jedan ili više redova po celoj visini bloka. Ruda koja pada u otvoreni prostor tovari se preko levkastih sipki u vagonete ili trake i odvozi do okna ili potkopom napolje.

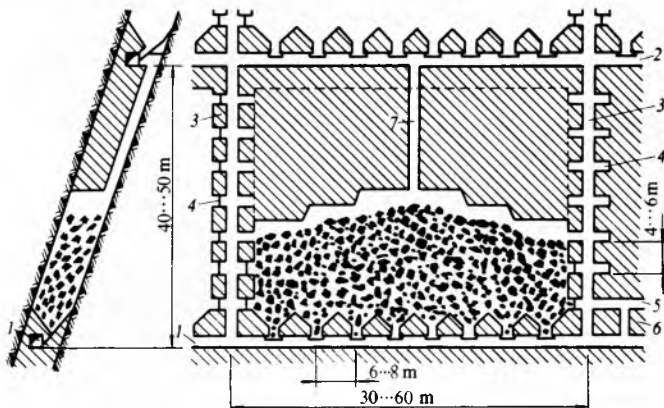


Sl. 8. Lepezaste bušotine iz podetažnih hodnika

Magazinske metode otkopavanja

Naziv magazinskih metoda dolazi otuda što se minirana ruda postepeno akumulira u otkopu-magazinu napredovanjem od nižeg k višem horizontu. Minirana ruda zauzima veću zapreminu od kompaktne rude pa je posle svakog miniranja potrebno iz otkopa izvlačiti 30...40% minirane rude, a tako se ispod krova otkopa ostavlja radni prostor visine ~2 m.

Magazinske metode primenjuju se za žilna i sočivasta ležišta s jednakomernim padom većim od 60°, s čvrstom rudom i čvrstim bokovima. Otkopi se do moćnosti od ~10 m razvrstavaju po pravcu pružanja, a za veće moćnosti poprečno na pravac pružanja ležišta, ali se tada primenjuju kombinovane metode. Slika 9 prikazuje magazinsku metodu otkopavanja žile debele 3...5 m, s ostavljanjem sigurnosnih stubova između otkopa i sigurnosne ploče pod višim horizontom.



Sl. 9. Magazinska metoda otkopavanja. 1 izvozni hodnik, 2 ventilacijski hodnik, 3 uskop, 4 spojni hodnik, 5 otkopni hodnik, 6 kraći uskop koji se proširuju u obliku levka, 7 centralni uskop

Izvozni hodnik radi se po sredini ležišta ili uz podinski bok, a ventilacijski hodnik je ranije izrađen. Ležište se po uskopima deli na otkopne blokove dužine 40...60 m. Iz tih uskopa, koji su u centru sigurnosnih stubova, izrađuju se na svakih 4...6 m kraći spojni hodnici kojima se dolazi u otkope. Posle uskopa, na 5...6 m iznad nivoa horizonta, izrađuju se otkopni hodnici, koji se proširuju preko cele širine i dužine ležišta. Time je završeno horizontalno podsecanje otkopa. Tada se na svakih 6...8 m probijaju kraći uskopi koji se u gornjem delu proširuju u obliku levka, a na dnu se postavljaju vrata radi utovara rude u vagonete. Radi bolje ventilacije i dopreme materijala, uz otkope se obično izrađuje centralni uskop, odakle počinje otkopavanje. Posle svakog miniranja ispušta se višak rude da bi se napravilo mesta za rad. Kada se tako otkopavanje dođe do sigurnosne ploče, debljine 3...4 m, počinje kompletno ispuštanje rude. Prazni prostori ostaju otvoreni ili se naknadno zasipavaju. Sigurnosni stubovi i ploče mogu se naknadno otkopavati, kada se završe radovi u višem horizontu.

Metode sa zasipavanjem otkopanih prostora

Metode imaju takav naziv jer se prazni prostori iz kojih je izvađena ruda zapunjavaju jalovim materijalom koji se naziva zasipom. Princip rada sastoji se u tome da se izvesni deo rudnog tela otkopa, tj. ruda se bušenjem i miniranjem obori na stari zasip i potovari, a potom se otkopani deo popunjava novim zasipom. Između zasipa i stropa otkopa ili ostaje slobodan prostor visine oko 2 m ili se otkop do stropa popunjava zasipom. Naizmeničnim otkopavanjem i zasipavanjem napreduje se od nižeg k višem horizontu.

Metode se primenjuju za razne tipove ležišta sa čvrstom i manje čvrstom rudom, ali sa slabijim bokovima. Nagibni ugao treba da iznosi najmanje 40...45°. Te metode spadaju u najskuplje, pa se primenjuju za vrednije rude. Iskorišćenje rude iznosi do 95%.

Zasipni materijal. U otkopane prostore zasip se doprema u suhom ili mokrom stanju, a prazni prostor zapunjava se ručno, mehaničkim sredstvima, pneumatski ili hidraulički.

Zasipni materijal potiče, ako je iz jame, iz bokova ležišta, zatim iz istražnih i pripremljenih radova u jalovini ili iz specijalnih podzemnih otkopa u jalovini. Kao zasipni materijal s površine upotrebljavaju se jalovina flotacije, troska visokih peći i razne mekše stene u blizini rudnika. Zasipni materijal treba da odgovara tehničko-ekonomskim uslovima, a to znači da je inertan i da ne sadrži više od 8...15% piritu i 4% pirotina, da nije suviše abrazivan, da ima određeni granulometrijski sastav, da kao suhi zasip nema više od 10% vlage i da troškovi dobivanja, transporta i ugrađivanja budu što niži.

Dobivanje i doprema suhog zasipnog materijala. Materijal iz podzemnih radova upotrebljava se za suho zasipavanje. Za manja rudna tela i uske žile zasipni materijal može se dobivati iz jalovih bokova, i to obično iz krovine. Za veće količine zasipnog materijala iz jamskih radova mogu se otvoriti posebni otkopi u jalovini.

Kao površinski zasipni materijal za suho zasipavanje najpogodniji su škriljci, filiti, tufovi i sl. Ako zasipni materijal nije iz jame, na pogodnom se mestu u blizini jame formira površinski kop s više etaža. Minirani materijal tovari se na utovarna vozila i prevozi do glavnog zasipnog uskopa, a otuda podzemnim saobraćajnicama do zasipnih uskopa. Zasip određene granulacije potrebne za pneumatsko zasipavanje treba drobiti i prosejati. Suhi se zasip kroz lokalne uskope ili kroz cevi propušta u otkope, gde se skreperima ili vagonetima rasprostire.

Hidrauličko zasipavanje obuhvata pripremu zasipnog materijala, transport materijala vodom u obliku pulpe, zasipavanje i odvodnjavanje otkopa. Za pripremu materijala i formiranje pulpe, na površini u blizini rudnika treba izgraditi zasipnu stanicu opremljenu odgovarajućom opremom, u prvom redu pumpnim postrojenjem. U otkope se zasip razvodi armiranogumenim cevima koje se postavljaju u stropu otkopa ili na posebne nogare-skele. Za odvodnjavanje otkopa izrađuju se posebni odvodni otvori u vidu sipki koji se s napredovanjem otkopa nastavljaju, a oblažu se filtarskim platnom radi ceđenja vode iz pulpe.

Pneumatsko zasipavanje provodi se komprimiranim vazduhom preko zasipne mašine koja kroz cevi potiskuje mešavinu jalovine i vazduha. Radni pritisak vazduha iznosi 0,61 MPa, a u cevovodima se dopušta pad pritiska do 0,35 MPa. Postiže se velika brzina strujanja (30...50 m/s). Zasipni materijal treba da ima granulaciju od 30...60 mm, a ne sme imati više od 10% glinastih primesa i sitneži. Radi sprečavanja nastanka prašine pri zasipavanju, materijal pre ubacivanja u zasipnu mašinu treba ovlažiti dodavanjem 4...6% vode.

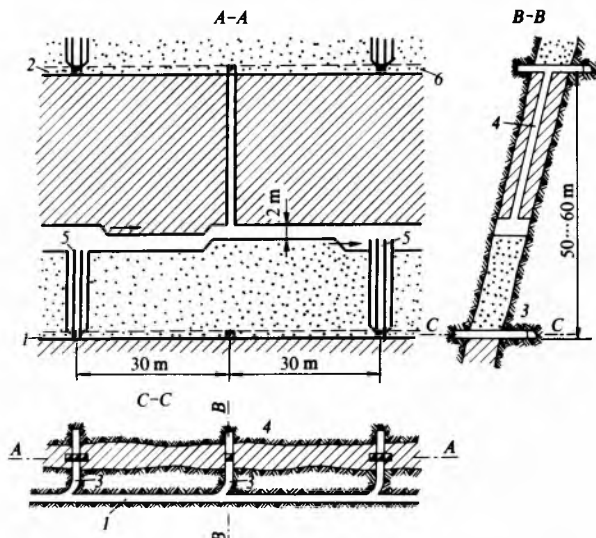
Specijalni zasip. U nekim slučajevima, kada se na površini nalaze važni objekti, vodeni tokovi i sl., treba sprečiti pojavu pukotina i zarušavanje površine, pa se primenjuje specijalni zasip koji mora imati veću čvrstoću i nosivost. U pulpu se dodaje veziva komponenta, najčešće cement, a ređe kreč ili gips. Zasip se stvrdne i postaje monolitna masiv.

Metode krovnog otkopavanja

Među tim metodama razlikuju se metode otkopavanja po pružanju ležišta, te borska i trepčanska metoda otkopavanja.

Metode otkopavanja po pružanju ležišta primenjuju se za otkopavanje žila i sočiva moćnosti od 1,5...6 m i više, sa strmim padom, čvrstom rudom i slabijim bokovima. Otkopava se u blokovima dužine 50...60 m. Izvozni hodnici rade se u samoj rudi ili u podinskom boku. Slika 10 prikazuje jednu od varijanta krovnog otkopavanja za žilu moćnosti 3...6 m, s izvoznim hodnikom u podinskom boku. U višem horizontu prethodno je izrađen izvozni hodnik koji služi još i za ventilaciju i prevoz zasipnog materijala za niži horizont. Na nivou nižeg horizonta iz hodnika se na svakih 25...30 m izrađuju prečnici kojima se preseca žila po celoj širini. Zatim se s nivoa horizonta otkopava ruda na visinu od ~5 m, pa se po padu ležišta u rudi izrađuje zasipni uskop koji treba da izbiye u prečnik višeg horizonta. Deo prečnika koji se nalazi u rudi treba podgraditi gustom drvenom podgradom ili betonskom oblogom, a ujedno se izrađuju dvodelne ili

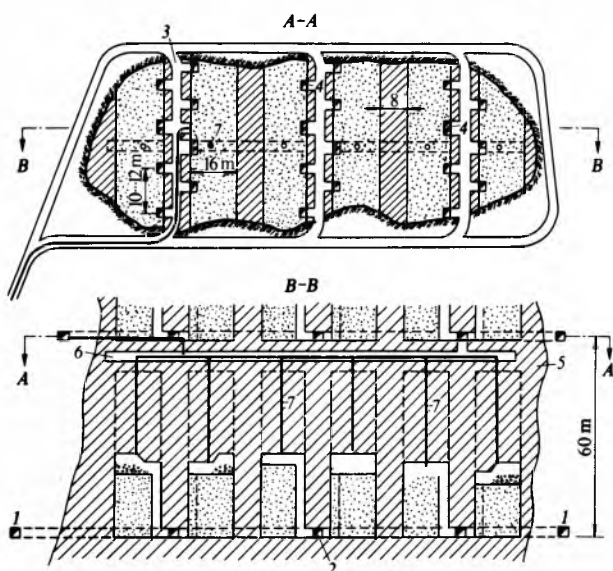
trodelne sipke. Pre zasipavanja otkopa, na pod se postavlja drveni ili betonski patos deo 20...25 cm, koji sprečava obrušavanje zasipa u otkop pri otkopavanju poslednje etaže. Za manje vredne rude i uske žile umesto patosa ostavlja se tanji sloj rude od 0,5...0,6 m. Kad se sve to završi, iz višeg se horizonta preko zasipnog uskopa spušta zasipni materijal koji se poravnava pa se ostavlja otvorena visina od ~2 m. Tek tada počinje normalno otkopavanje, i to od rudne sipke bušenjem i miniranjem horizontalnih ili kosih bušotina dužine od ~2 m. Oborena ruda pada na zasip i tovari se u vagonete, koji se istresaju u sipke ili u utovarno-transportna vozila.



Sl. 10. Metoda krovnog otkopavanja po pružanju ležišta. 1 izvozni hodnik u podinskom boku, 2 hodnik za ventilaciju i prevoz zasipnog materijala, 3 prečnik, 4 zasipni uskop, 5 sipka, 6 patos

Borska metoda otkopavanja. Za otkopavanje moćnih žila i rudnih tela s vrednom rudom, koje su šire od 10 m, primenjuje se krovna metoda s razvrstavanjem otkopa i stubova poprečno na pravac pružanja ležišta. Veća rudna tela borskog rudnika imaju oblik štokova sa strmim padom. Površine tih rudnih tela dele se na otkope širine 16 m i stubove širine 8...10 m (sl. 11).

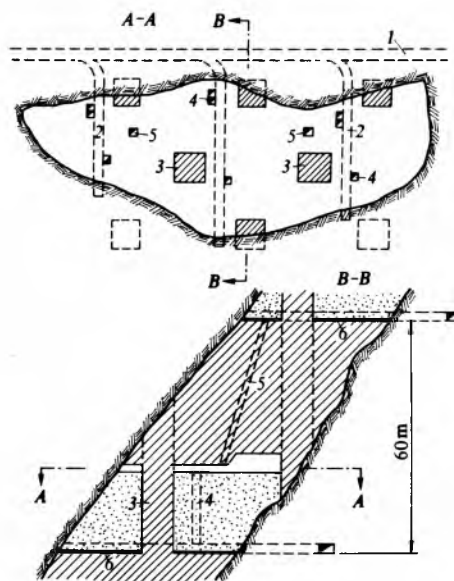
Izvozni hodnici izrađuju se u podinskom i krovinskom boku, a iz njih se kroz svaki drugi sigurnosni stub rade prečnici. Iz tih prečnika na svakih 10...12 m rade se kratki prekopi gde će se docnije izrađivati rudno-prolazne sipke. Otkopavanje počinje s nivoa horizonta iz kratkih prekopa.



Sl. 11. Borska metoda otkopavanja s hidrauličkim suhim zasipavanjem. 1 izvozni hodnik, 2 prečnik, 3 kratki prekop, 4 rudno-prolazna sipka, 5 sigurnosna ploča, 6 zasipni hodnik, 7 zasipna bušotina

Prva etaža se otkopava do visine od 5...6 m, a oborena ruda tovari se mehaničkim lopatama u vagonete. Kad se utovari sva ruda, izrađuju se sipke u gustom drvenoj podgradi. Radi zasipavanja otkopa, ispod višeg horizonta u sigurnosnoj ploči izrađuje se zasipni hodnik iz kojeg se po sredini svakog otkopa buše zasipne bušotine, prečnika 75 mm, kroz koje se dovodi flotacijska jalovina kao zasip. Kad je otkop spreman za zasipavanje, izrađuju se postolja-skele za razvođenje armiranogumenih cevi koje se priključuju na bušotinu u krovu otkopa ili na dovodnu cev. Pulp se jednakomerno raspoređuje po celoj površini otkopa. Otkop se odvodnjava kroz sipke koje se oblažu gustom filterskim platnom (*sargijom*) kroz koje se cedi voda iz pulpe i koje sprečava prodor jalovine. Voda se odvodi kanalima u taložnik, a zatim u vodosabirnik pumpne stanice. Visina otkopavanja sledećih etaža iznosi 2,2...2,5 m. Oborena ruda se otprema utovarno-transportnim vozilima. Otkopava se do višeg horizonta, ispod kojeg se ostavlja zaštitna ploča od ~8 m. Sigurnosni stubovi i ploče naknadno se otkopavaju.

Trepčanska metoda otkopavanja. Rudna su tela trepčanskog ležišta nepravilnog oblika s padom od 35...45° i površinom od 100...5000 m². Za površine veće od 2000 m² ostavljaju se sigurnosni stubovi od 10×10 m koji se raspoređuju u šahovskom poretku i naknadno se otkopavaju. Za manje površine ostavljaju se, ako je potrebno, sigurnosni stubovi manjih dimenzija (4×4 m ili 5×5 m), koji se ne otkopavaju. Slika 12 prikazuje trepčansku metodu otkopavanja. Na svakom horizontu u podinskom krečnjaku izrađuju se izvozni hodnici, a svakih 30 m prečnici do krovinskog boka.



Sl. 12. Trepčanska metoda otkopavanja sa suhim zasipavanjem. 1 izvozni hodnik, 2 prečnik, 3 sigurnosni stub, 4 rudno-prolazna sipka, 5 zasipni uskop, 6 betonska ploča

Na osnovu poznatih kontura rudnog tela na višem horizontu i novih kontura na radnom horizontu određuje se položaj sigurnosnih stubova. Oborena ruda tovari se utovarno-transportnim vozilima u vagonete. Kad se otkopa ruda na celoj površini, delovi prečnika u rudi oblažu se betonom a ujedno se rade rudne i rudno-prolazne sipke. Radi zasipavanja otkopa izvode se po rudi zasipni uskopi do višeg horizonta. Paralelno s izgradnjom prečnika u betonskoj oblozi i sipki polaže se na pod otkopa betonska ploča debela ~30 cm, koja sprečava prodor zasipa kad se otkopavanjem dođe do višeg horizonta. Kad se sve to završi, iz gornjeg se horizonta spušta zasip koji se skreperima razvlači po otkopu. Pod krovom otkopa ostavlja se otvor ~2 m radi ventilacije i komuniciranja u otkopu.

Otkopavanje sledećih etaža visine 2 m počinje od rudnih sipki. Ruda se miniranjem obara na zasip horizontalnim i

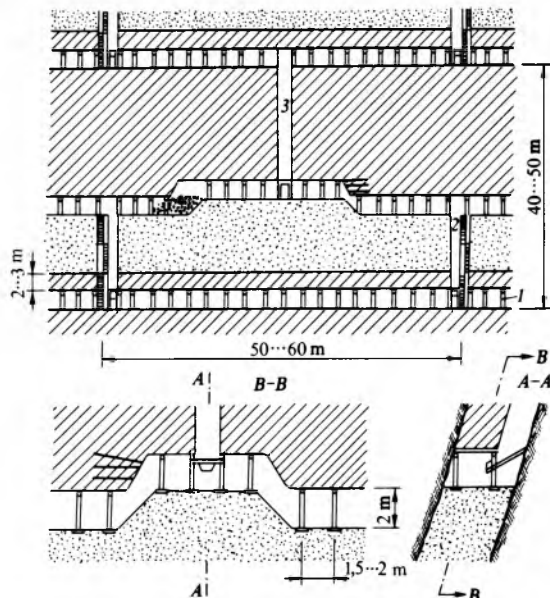
kosim bušotinama i otprema utovarno-transportnim vozilima do sipki.

U Trepci se u dogledno vreme predviđa, po projektu Rudarskog instituta u Beogradu, hidraulično zasipavanje otkopa flotacijskom jalovinom iz novopodignute flotacije na Prvom tunelu.

Metode otkopavanja s podgrađivanjem i zasipavanjem

Primenjuju se metode otkopavanja po pružanju ležišta i prečne metode otkopavanja.

Metode otkopavanja po pružanju ležišta primenjuju se za otkopavanje žila i sočiva s manje stabilnom rudom i slabijim bokovima, moćnosti do 4 m i s padom oko 60°. S obzirom na loša fizičko-mehanička svojstva rude i stena otkopi se moraju podgrađivati stajkama i podvlakama.

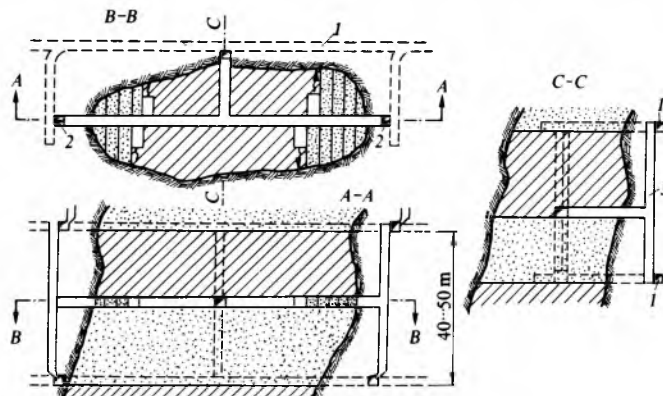


Sl. 13. Krovna metoda otkopavanja s podgrađivanjem i zasipavanjem po pružanju ležišta. 1 izvozni hodnik, 2 rudno-prolazna sipka, 3 ventilacijsko-zasipni uskop

Slika 13 prikazuje metodu otkopavanja u uzdužnom preseku i detalj početka otkopavanja i zasipavanja na jednoj etaži. Priprema se sastoji u izradi izvoznog hodnika u rudi, rudno-prolaznih sipki i ventilacijsko-zasipnog uskopa. Radi zaštite izvoznog hodnika, iznad njega se ostavlja zaštitni stub širine 2...3 m. Otkopavanje počinje od zasipnog uskopa tako što se levo i desno od uskopa ruda otkopa na dužini od 2...3 m i na visini jedne etaže od 2 m, a zatim se pušta zasip koji se poravnava. Na zasip se pod uskopom izrađuje privremena sipka za punjenje vagoneta zasipnim materijalom. Otkopani se deo podgrađuje podvlakama i stajkama, a zatim se sa zasipa s jedne strane otkopa buše horizontalne bušotine duge ~2 m. Oborena ruda se tovari u vagonete ručno ili mehaničkim lopatama i prevozi do sipke. Pre miniranja odstrani se podgrada da je mine ne bi oštetile. Dok se na jednom kraju otkopa ruda otprema, na drugom se kraju zasipava, podgrađuje i buši. Umesto drvenih stojki mogu se primeniti i čelični frikcijski stupci.

Prečna metoda otkopavanja primenjuje se za otkopavanje moćnih žila, sočiva, nepravilnih rudnih tela s nedovoljno čvrstom rudom i slabim bokovima, s padom strmijim od 40°, s bogatom i vrednom rudom. Slika 14 prikazuje pripremu i otkopavanje takvog rudnog tela. Izvozni hodnik, rudno-prolazne sipke i zasipni uskop rade se u jalovom boku ako je ruda trošna, a jalovi bokovi čvršći. Ukoliko je ruda čvršća, a jalovi bokovi slabiji, navedeni se objekti rade u rudi. Tada otkopavanje počinje na 5 m iznad nivoa horizonta, a radi zaštite izvoznog horizonta. Minirana ruda otprema se vagonetima ili utovarno-transportnim vozilima do rudno-prolaznih sipki. Na jednom kraju se otkopava, a na drugom se zasipava.

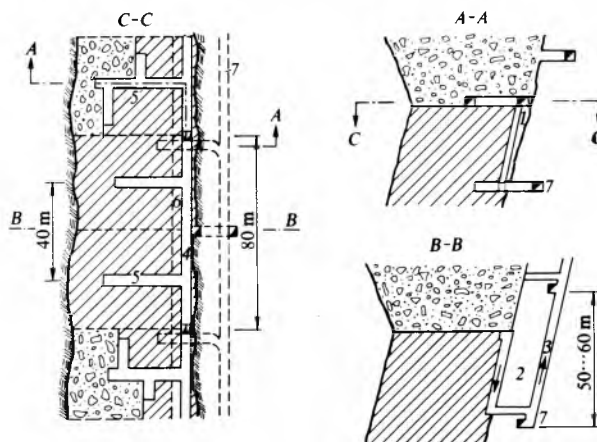
Zasipni se materijal iz višeg horizonta spušta u zasipni uskop, a odatle vagonetima prevozi do pripremljenog otkopa i ručno razbacuje. Ukoliko postoje uslovi, zasipavati se može hidraulički ili pneumatski. Pre zasipavanja otkop se s unutarnje strane mora obložiti okrajcima da bi se sprečilo prodiranje zasipa u susjedni otkop. Ta se metoda primenjuje i za otkopavanje sigurnosnih stubova i ploča.



Sl. 14. Prečna metoda otkopavanja hodnicima. 1 izvozni hodnik, 2 rudno-prolazna sipka, 3 zasipni uskop

Metode otkopavanja sa zarušavanjem krovinskih stena

Metode otkopavanja sa zarušavanjem krovine u etažama-hodnicima primenjuju se za pravilna i nepravilna rudna tela s blažim i strmijim padom, veće i manje moćnosti, s vrednom rudom kojoj čvrstoća nije od bitne važnosti, ali krovinske stene treba da se lako zarušavaju. Otkopi u obliku hodnika održavaju se podgradom, a kad se otkopa jedan ili dva hodnika, na pod se postavlja patos od oblica ili žičana mreža i otkop se zarušava. Umesto drvene podgrade može se primeniti i čelična. Oborena ruda se otprema vagonetima ili utovarno-transportnim vozilima do rudne sipke. Na sl. 15 prikazana je priprema dela ležišta s četiri otkopna bloka. Za sva četiri otkopna bloka izrađuju se dve rudno-prolazne sipke, a po sredini sektora servisni uskop i ventilacijski uskop.



Sl. 15. Metoda krovnog zarušavanja hodnicima. 1 rudno-prolazna sipka, 2 servisni uskop, 3 ventilacijski uskop, 4 smerni hodnik, 5 prečnik, 6 privremeni zaštitni stub, 7 izvozni hodnik

Rudno-prolazne sipke i servisni uskop nalaze se u smernom hodniku iz kojega se na svakih 40 m rade prečnici. Otkopavanje počinje od krajnjih blokova i ide k centru sektora, s tim da se uz smerni hodnik ostavlja privremeni zaštitni stub, koji se na kraju otkopa. Kad se završi otkopavanje na jednoj etaži, iz rudno-prolazne sipke najpre se izrađuje smerni hodnik, a zatim prečnici iz kojih se levo i desno razvrstavaju otkopi. Izvozni hodnik se obično radi u podinskom boku, a iz njega se na svakih 80 m rade prečni hodnici iz kojih se izrađuju rudno-prolazne sipke. Otkopi se zarušavaju tako što se drvena podgrada minira, a čelični se stupci izvlače. U toku otkopavanja

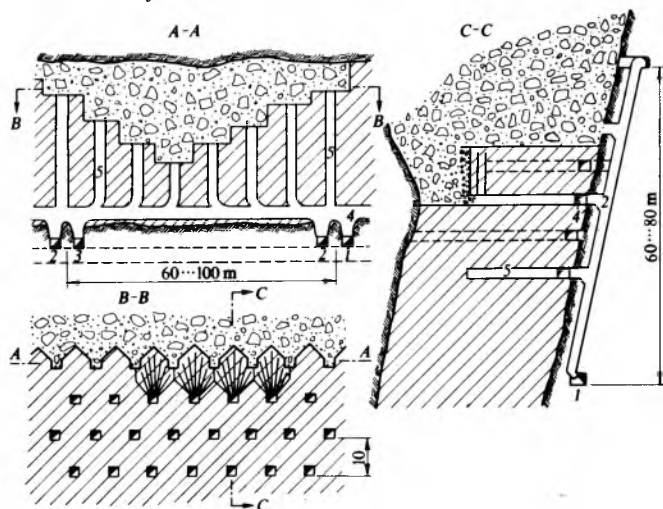
nja podgradom se poduhvata patos više etaže. Širina otkopa iznosi 2,5...3 m, a dužina ~20 m.

Postoji više varijanta takve metode, ali se one sve ređe primenjuju zbog velike potrošnje građe, visokih troškova otkopavanja i loše ventilacije.

Metode otkopavanja sa zarušavanjem rude i okolnih stena

Primenjuju se metode podetažnog zarušavanja i blokovskog samozarušavanja.

Metode podetažnog zarušavanja primenjuju se za ležišta veće moćnosti i za ležišta moćnosti od 2...10 m. Za deblja ležišta podetažni se hodnici rade poprečno na pravac pružanja, a za debljine do 10 m po pravcu pružanja ležišta. Princip je rada u tome što se iz podetažnih hodnika lepezasto buši i minira. Oborena se ruda utovarno-transportnim vozilima otprema do rudnih sipki. Usled miniranja i otpreme rude zarušavaju se bokovi, odnosno krovinske stene. Kako se uz miniranu rudu nalazi zarušena jalovina, u toku utovara rude jalovina se meša s rudom, pa ruda osiromašuje. Osiromašenje i iskorišćenje su u međusobnoj funkcionalnoj zavisnosti, pa što je veće osiromašenje, biće i veće iskorišćenje rude, i obratno. Da bi se postigli zadovoljavajući rezultati u pogledu osiromašenja i iskorišćenja, potrebno je prethodno eksperimentalno, na modelima, utvrditi odgovarajuće parametre. Osnovni su parametri: visina podetaže, nagibni ugao lepeza-stih bušotina, odstojanje između bušotina i ugao krajnjih bušotina, koji obično iznosi 70...80°.

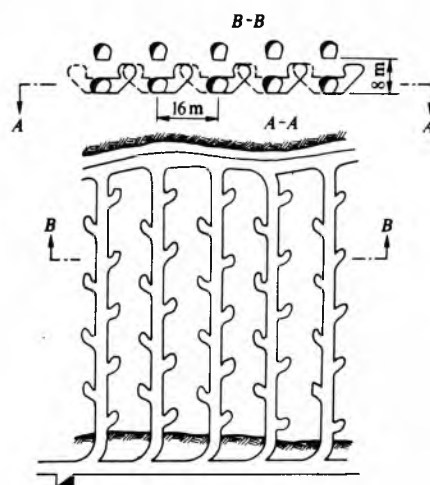


Sl. 16. Metoda podetažnog zarušavanja (švedska varijanta). 1 izvozni hodnik, 2 rudna sipka, 3 prolazno-servisni uskop, 4 smerno-transportni hodnik, 5 otkopni hodnik

U praksi se najviše primenjuje tzv. švedska varijanta. Slika 16 prikazuje tu metodu za moćno ležište strmog pada. Izvozni se hodnici rade u podinskom boku, a rudne sipke i prolazno-servisni uskopi iz izvoznog hodnika po padu ležišta na odstojanju od 60...100 m i više. Uskopi služe za ventilaciju, snabdevanje otkopa potrebnim materijalom, kretanje ljudi i mehanizacije. Rudne sipke na svakoj podetaži spajaju se smerno-transportnim hodnikom. Od njega se na svakih 6...8...10 m izrađuju prečni otkopni hodnici do krovinskog boka, odakle počinje otkopavanje, koje se nastavlja prema podinskom boku. Odstojanje između otkopnih hodnika zavisi od visine podetaže, moćnosti ležišta, padnog ugla i dr., a dimenzije otkopnih hodnika od dimenzija primenjene mehanizacije. Otkopni se hodnici raspoređuju u šahovskom poretku. Otkopavanje počinje miniranjem krovinskog boka, a zatim se minira s nekoliko redova lepezastih bušotina u rudi. Deo minirane rude izruči se u hodnik, a veći deo ostaje uklešten između jalovine i rudnog masiva. Postepenim utovarom dejstvom gravitacije pokreću se minirana ruda i jalovina koja se sve više obrušava kako se otkop povlači k podinskom boku. Utovar traje do dozvoljene granice osiromašenja, odnosno do granice ekonomičnosti.

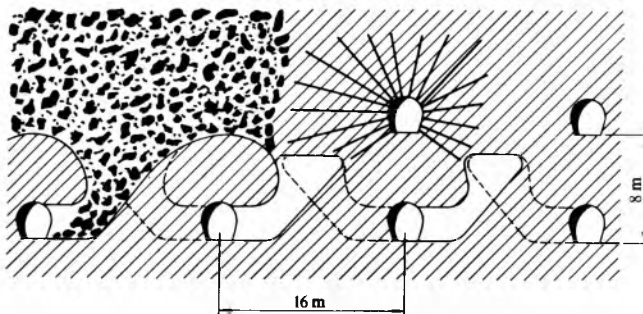
Metode blokovskog samozarušavanja primenjuju se za ležišta većeg prostiranja, veće moćnosti, blažeg i strmijeg pada, s čvrstom i srednječvrstom rudom, ispresecana u više pravaca prirodnim pukotinama i prslinama; krovne stene treba da se lako zarušavaju. Iskorišćava se pritisak višeležećih masa, sopstvena težina rude i sila gravitacije.

Rudni masiv deli se u blokove koji se po celoj površini podsecaju, usled čega se samozarušavaju. U moćnim žilama i sočivima blokovi se raspoređuju poprečno na pravac prostiranja ležišta, sa širinom od ~30...60 m, a u rudnim telima velike horizontalne površine blokovi imaju oblik kvadrata ili pravougaonika dimenzija 40 × 60...60 × 100 m. Visina bloka iznosi 40...50 m, često i 100 m, što zavisi od pada ležišta, karaktera rude, jalovog pokrivača, pritiska u dnu bloka i od oblika ležišta. Razlikuju se tri osnovne faze rada: priprema blokova, podsecanje i izvlačenje zarušene rude. Postoji mnogo varijanti. Slika 17 prikazuje pripremu bloka vrlo moćnog ležišta, s utovarom rude iz utovarnih hodnika utovarno-transportnim vozilima. U toj varijanti postoje dva nivoa: utovarni horizont i horizont podsecanja.



Sl. 17. Metoda blokovskog samozarušavanja iz utovarnih hodnika

Izvozni hodnik se radi u podinskom boku, a paralelno i krovinski hodnik u rudi koji služi za ventilaciju i komunikaciju. Rudne se sipke nalaze u podinskom boku. Iz podinskog izvoznog hodnika na svakih 16 m rade se utovarni hodnici iz kojih se levo i desno na odstojanju od 15 m izrađuju levkaste sipke. Poviše utovarnih hodnika, na ~8 m visine, izrađuju se hodnici podsecanja. Tada je priprema završena. U narednoj fazi podsecanja najpre se uz krovinski bok izradi zasek, a zatim se buše lepezaste bušotine, koje se sukcesivno miniraju. Na slici 18 prikazana je izrada lepezastih bušotina. Po završenom podsecanju bloka dolazi važna faza izvlačenja rude, od koje zavisi dalji proces zarušavanja bloka, stepen iskorišćenja i osiromašenja rude. Izvlačenjem rude nastavlja se proces zarušavanja po visini, koji zahvata krovnu jalovinu koja će naleći na zarušenu rudu. Tek tada počinje intenzivnije i ravnomernije izvlačenje rude. Iz pojedinih sipki ruda se izvlači u određenim dozama od 20...40 t/dan, a prosečna visina

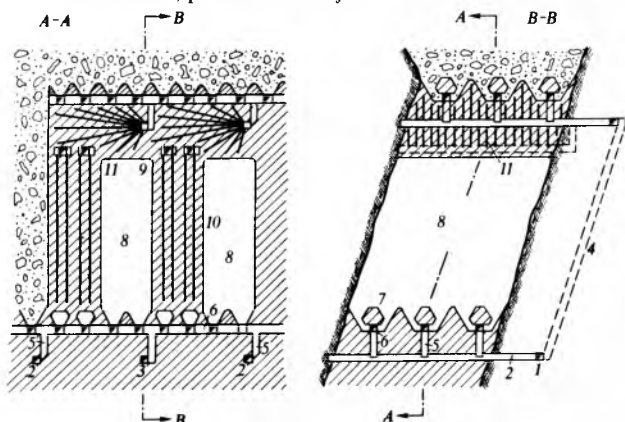


Sl. 18. Podsecanje bloka lepezastim bušotinama (detalj)

ispuštanja rude po celoj površini bloka iznosi 0,3...0,5 m/dan. Pri pravilnom izvlačenju rude, koeficijent iskorišćenja iznosi 85...90%, a osiromašenje rude 10...20%. Učinci su vrlo veliki i kreću se u granicama od 30...50 t po nadnici.

Kombinovane metode otkopavanja

Kombinovane metode otkopavanja dolaze u obzir za moćna ležišta rude i okolnih stena različitih fizičko-mehaničkih svojstava. Ležište se između dva horizonta deli u komore i sigurnosne stubove. Komore i stubovi sačinjavaju celinu, a približno su jednakih dimenzija. Više njih zajedno sačinjavaju blokove. Pripremni radovi izvode se obično istovremeno za komore i za stubove. Širina komora i stubova iznosi od 4...6 do 25 m, što zavisi od rudarsko-geoloških karakteristika ležišta. Postoji veći broj varijanti tih metoda. Na sl. 19 prikazana je faza miniranja sigurnosnog stuba i sigurnosne ploče, pri čemu je ruda iz komore prethodno otkopana metodom podetažnih hodnika. Oborena ruda pada u prazan prostor komore iz koje se može otpremiti 40...50% čiste rude. Ostala ruda biće izmešana s jalovinom koja se obrušava iz krova i iz bokova, pa osiromašenje rude iznosi i više od 20%.



Sl. 19. Masovno miniranje sigurnosnog stuba i ploče za kombinovanu metodu otkopavanja. 1 izvozni hodnik u podinskom boku, 2 prečni transportni hodnici, 3 prečni transportno-ventilacijski hodnik, 4 ventilacijski uskop, 5 rudna sipka s prolaznim odeljenjem, 6 skreperski hodnici, 7 levkaste sipke, 8 kompenzacijske komore, 9 hodnici za bušenje dugačkih bušotina, 10 bušotine u sigurnosnom stubu, 11 bušotine u horizontalnom stubu

LIT.: M. И. Агашков, Конструирование и расчёты системы и технологии разработки рудных месторождений, Наука, Москва 1965. – М. И. Агашков, Г. М. Малахов, Подземная разработка рудных месторождений. Недра, Москва 1966. – S. D. Woodruff, Methods of Working Coal and Metal Mines. Pergamon Press, Oxford-London-Edinburgh-New York-Toronto-Paris-Frankfurt 1966. – О. А. Байконуров, Классификация и выбор методов подземной разработки месторождений. Алма-Ата 1969. – В. Глуšević, М. Lilić, Eksperimentalno određivanje parametara podetažnog zarušavanja za rudnik bakra Bor – Tilva Roš. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 1971. – В. Глуšević, Отварение и методы подземного оtkopavanja рудных лежишта. Минерва, Суботича-Београд 1974.

B. Глуšević

PODZEMNO OTKOPAVANJE SLOJEVITIH NALAZIŠTA

Nalazišta uglja uvek se pojavljuju u obliku slojevitih ležišta, a, osim toga, uglj se od svih mineralnih sirovina najviše eksploatiše. Zbog toga se u ovom članku opisuju postupci za otkopavanje uglja, iako se i druge mineralne sirovine kad su u slojevitim ležištima otkopavaju jednakim postupcima. Osnovni je zadatak otkopavanja uglja osiguranje potrebnih količina sirovina. Zadatak se može izvršiti ako postoji ležište sa slojevima uglja koje se eksploatiše uz pomoć dovoljnog broja kvalifikovanih radnika, primenom prikladne otkopne metode uz pogodnu opremu. U tehnološkom procesu eksploatacije uglja otkopavanje je najvažnija faza. Pri tom se nastoji da se ostvari najviši stepen bezbednosti zaposlenih rudara, što potpunije iskorišćenje raspoloživih rezervi uglja, najmanji mogući obim radova na otvaranju i pripremi ugljenih slojeva za eksploataciju te maksimalna produktivnost. Osim toga, u otkopavanju treba obezbediti sigurno vladavanje krovinom i jamskim pritiscima.

Prema načinu upravljanja krovinom postoje sledeće metode otkopavanja: otkopne metode bez oštećenja krovine i deformacije površine, sa zasipavanjem otkopanih prostora, otkopne metode s ostavljanjem stubova, otkopne metode sa zarušavanjem krovine i specijalne otkopne metode.

Pre odluke o izboru otkopne metode potrebno je poznavanje geoloških, geomehaničkih i drugih relevantnih uslova ležišta. To je osobito važno u Jugoslaviji, gde su ti uslovi zbog različite geološke starosti ugljenih bazena veoma različiti, za razliku od ležišta u drugim zemljama, npr. u SAD, Poljskoj, SR Nemačkoj, Belgiji ili Velikoj Britaniji, gde vladaju gotovo jednake geološke prilike. U Jugoslaviji se teško može naći neki ugljeni bazen ili čak i pojedini rudnik tog bazena s uslovima jednakim kao u susednim nalazištima.

Uticajni faktori na otkopavanje

Za optimalnu eksploataciju treba poznavati geološke uslove ležišta, hidrološke prilike, geomehanička svojstva, sposobnost pojedinih krovinskih naslaga za rušenje te svojstva pojedinih slojeva i pratećih naslaga u pogledu otpora na mašinsko rezanje.

Geološki uslovi. Od geoloških uslova treba spomenuti oblik ležišta, moćnost (debljinu) slojeva te njihovo pružanje i pad. Prema moćnosti slojeva uglja razlikuju se tanki slojevi (do 1,2 m), srednji slojevi (1,2...3,0 m) i moćni slojevi (deblji od 3,0 m). Prema padu, slojevi mogu biti horizontalni (do 5°), blagonagnuti (5...25°), strmije nagnuti (25...45°) i strmi (strmiji od 45°). Veoma je važan i broj slojeva i njihovo međusobno rastojanje te njihova gasonosnost i sklonost samozapaljenju i gorskim udarima. **Tektonska struktura** ležišta dvojako je važna. Jaka tektonska poremećenost može potpuno onemogućiti eksploataciju, ali je i svaki normalni rased znatno otežava.

Hidrološke prilike u ležištu u velikoj meri zavise od tektonskih, jer su pukotine uzduž kojih se pomiču rasedna krila (tzv. paraklaze) često i putevi kojima voda prodire u podzemlje. Svaki prodor vode ugrožava proizvodnju, ali i voda u manjim količinama, koja je u ugljenokopima uvek prisutna, otežavajući je faktor, pogotovo ako u ugljenom sloju ili u pratećim naslagama ima sastojaka koji u dodiru s vodom bujaju ili stvaraju nepoželjne ili čak štetne mase. U svakom slučaju, nepovoljne hidrološke prilike povećavaju troškove proizvodnje.

Geomehanička svojstva uglja i pratećih stena najvažniji su faktor u eksploataciji uglja jer od njih zavisi način podgradivanja, a to znači i otkopna metoda. U vezi s tim, poslednjih su godina u Jugoslaviji izvršena obimna ispitivanja specifičnih karakteristika zarušavanja krovinskih naslaga u pojedinim

Tablica 1

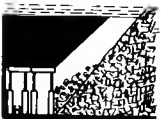
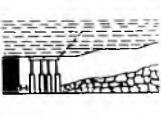
PREGLED UGLJENOKOPA PREMA ČVRSTOĆI NASLAGA

Grupacija rudnika	Vrsta uglja*	Čvrstoća naslage, MPa			
		Ugalj	Krovina	Podina	Grupa
Kolubara, Kosovo, Kostolac	L	2,0...4,0	1,0...2,0	–	I/1
Velenje, Kreka, Lubnica	L	4,9...15,6	2,0...5,0	–	I/2
Soko, Ivograd, Kamengrad, Kanižarica	ML	19,0...25,0	7,5...11	3,0...10,0	I/3
Trbovlje, Hrastnik, Zagorje	M	5,0...54,0	15,0...30,0	2,0...5,0	I/4
Aleksinac	M	8,1...13,0	30,3...90,0	4,0...10	II/1
Banovići, Rembas	M	10,4...33,9	40,0...85,0	5,0...30,0	II/2
Zenica, Kakanj, Breza	M	15,0...35,0	32,9...127,0	50...65	III/1
Raša	K	5,5...29,8	110...210	80...210	III/2

* L ligniti, ML mrkolignitski uglj, M mrki uglj, K kameni uglj

Tablica 2

KLASIFIKACIJA OTKOPNOG STROPA PO NAČINU ZARUŠAVANJA

Način zarušavanja	Grupe po čvrstoći na pritisak	Ponašanje natkopne ugljene ploče	Ponašanje neposredne krovine s osnovnim karakteristikama zarušavanja	Kategorija stropa	Karakteristika slojeva	Primeri
	I/1	Ugalj se pod uticajem SHP* raspucava i postepeno se drobi. Pri tom nakon 4. ili 5. rasterećenja SHP padaju komadi uglja. Ugalj se lako obara i mora se odmah podgraditi. Potrebno je postavljanje žičane mreže. Miniranje nije potrebno.	Neposredna krovina je razdrobljen stari rad ili sipki materijal koji se odmah zarušava. Zarušavanje u bloku ili kontinuirano.	I.	Veoma debeli slojevi mrkog uglja koji se otkopavaju u pločama ili etažama; neposrednu krovinu čini prethodnim otkopavanjem već raspucali laporac.	Zasavski ugljenokopi (npr. Trbovlje), Đurdevik, Kakanj/Seoce
	I/2	Lignit u natkopnoj ploči teže se drobi, ali se zbog plastičnosti i visokog stupnja žilavosti delimično raspucava. Potrebno je 2...3-kratno miniranje uglja. Jaka konvergencija stropa (do 30%).	Neposrednu krovinu čine plastične gline koje se zarušavaju u kraćem vremenskom intervalu. Zarušavanje je kontinuirano ili s kratkim zakašnjenjem. Zarušene gline se nakon napredovanja otkopa ponovo komprimiraju.	II.	Veoma debeli slojevi lignita koji se otkopavaju ispod kompaktne gline.	Velenje, Kreka, Lubnica
	I/3...4	Mrkolignitski i mrki ugalj lako se raspucava i pod dejstvom SHP drobi. Potrebno delimično miniranje. Konvergencija otkopa znatna (do 20%).	Neposrednu krovinu čine glinci ili laporci manje čvrstoće koji se lako zarušavaju.	III.	Slojevi mrkog uglja ispod još nenačete krovine veće čvrstoće u I. ploči (laporci) koja se lako zarušava.	Zasavski ugljenokopi, Banovići, Kanižarica, Soko (Sokobanja), Rembas (Resavica)
	II/1...2	Mrki ugalj lako se raspucava i drobi dejstvom SHP. Miniranje povremeno potrebno. Osrednja konvergencija otkopa (do 15%).	Neposredna su krovina čvrsti laporci ili delimično raspucani krupnozrnati peščari. Strop se teže ruši u određenom vremenskom razmaku (stvara konzole, postupno zarušavanje).	IV.	Slojevi mrkog uglja s čvrstom krovinom (laporci, peščari i sl.) koja se teško zarušava i u dužim vremenskim intervalima.	Kakanj, Zenica, Aleksinac
	III/1...2	Mrki i kameni ugalj lako se raspucava i dejstvom SHP drobi. Miniranje nije potrebno. Konvergencija otkopa mala (do 10%).	Neposrednu krovinu čine krečnjaci i peščari koji se teško zarušavaju, odnosno ne zarušavaju se bez miniranja. Zarušavanje nepotpuno i nepravilno.	V.	Slojevi kamenog uglja s veoma čvrstom krovinom (peščari ili krečnjaci) i slojevi mrkog uglja u glinovitom laporcu, laporovitom krečnjaku i laporovitim glinama; krovina se zarušava veoma teško.	Raša, Zenica/Stara jama

SHP* samohodna hidraulična podgrada

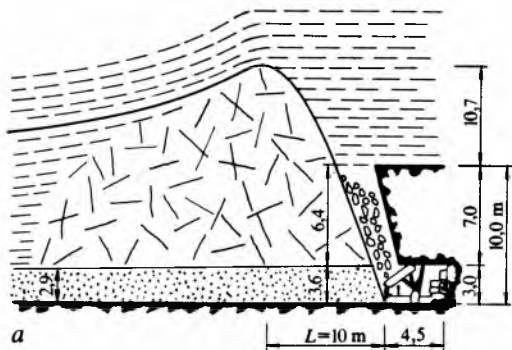
ugljenokopima. Rezultati tih ispitivanja prikazani su u tabl. 1 i 2. Prema čvrstoći na pritisak uglja i pratećih naslaga (krovine i podine), ugljenokopi su podeljeni na tri grupe. U I. grupu uvršćena su nalazišta u kojih sam ugalj ima najveću čvrstoću, tj. veću i od podine i od krovine. U II. grupi nalaze se ležišta u kojih je najveća čvrstoća krovine, dakle veća od čvrstoće ugljenog sloja, dok je čvrstoća podine znatno manja od čvrstoće ugljena. U III. grupu uvršćeni su ugljenokopi u kojih čvrstoća kako krovinskih tako i podinskih naslaga dostiže znatno veće vrednosti od čvrstoće ugljenih slojeva. Upoređivanjem primera u tabl. 1 i 2 vidi se da se po čvrstoći na pritisak međusobno razlikuju i slojevi u istom rudniku. Klasifikacija uslovljava i eksploatacijske metode. U I. grupi mogu se očekivati visoki otkopni pritisci, pa glavne rudničke saobraćajnice treba izgraditi u samom ugljenom sloju. U rudnicima II. grupe glavne će se saobraćajnice smestiti u krovinske naslage, dok će se u rudnicima III. grupe glavne saobraćajnice izgrađivati u podinskim naslagama.

Stropni pritisak. Intenzitet otkopnog pritiska, tj. pritiska u stropu neposredno iznad otkopa-radilišta, zavisi od naponskog stanja. Naponsko stanje ležišta kao i celokupnog stenskog masiva neporemećenog rudarskim radovima nalazi se u ravnoteži, što znači da je proporcionalno dubini i gustoći stenske mase. Ukoliko stenski masiv nije monolitan nego je više ili manje poremećen tektonskim kretanjima, a to je u našim ugljonosnim bazenima gotovo uvek, naponska su stanja različitog intenziteta, što prouzrokuje velike poteškoće u eksploataciji. Zato je ovladavanje naponskim stanjem u

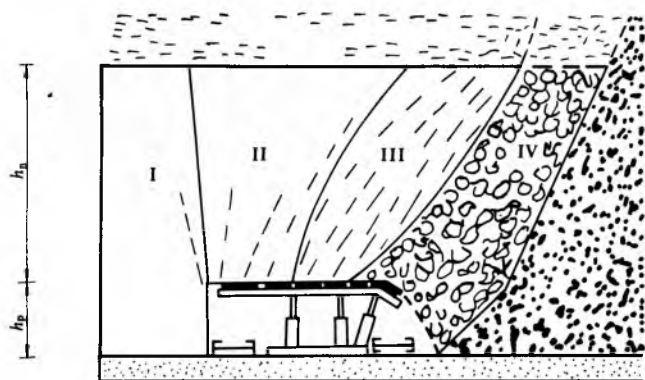
stropnoj ploči otkopa jedan od osnovnih zadataka u otkopavanju. Naslage u toj natkopnoj ploči mogu se zarušavati u otkopane prostorije ili neposredno nakon otkopavanja ili pak nakon izvesnog vremenskog intervala (sl. 1). Ako u stropu ima plastičnih materijala, npr. glina, glinica, laporaca ili sl., krovina se neće odmah zarušiti, već će se iza otkopa stvoriti *konzola* koja će se, zavisno od mehaničkih svojstava stena, zarušiti u otkop s određenim zakašnjenjem (sl. 1a). S povećanjem čvrstoće stropnih naslaga produžava se konzola, a naponsko stanje paralelno s tim raste. Ako se, međutim, u neposrednoj krovini, pogotovo u jako debelim ugljenim slojevima, nalazi prethodnim otkopavanjem već načet laporac ili stena sličnih mehaničkih svojstava, zarušavanje nastaje odmah nakon otkopavanja iz stropa; to je tzv. *tekuće* ili *kontinuirano zarušavanje stropa* (sl. 1b). Na promenu naponskog stanja u području otkopa deluje i primenjena otkopna metoda, odnosno vrsta upotrebljene podgrade. Na sl. 2 prikazana je promena naponskog stanja u natkopnoj ploči jednog od radilišta u rudniku Trbovlje.

Naponsko stanje može se podeliti u 4 faze, odnosno zone. U skladu s ulaženjem otkopa u ugljeni sloj, naponsko se stanje povećava pa se sloj postepeno raspucava i drobi u pravcu od čela otkopa prema starom radu (sleva nadesno na sl. 2). Prema tome, u području gde se ugalj dobiva iz natkopne ploče sloj je usled otkopnog pritiska i delovanja hidraulične podgrade već toliko raspucan, odnosno izdrobljen, da miniranje tog dela uopšte više nije potrebno. Delovanje samohodne hidraulične podgrade, kao glavnog činioca u

raspucalosti stropa, zasniva se na njenom stalnom naizmeničnom popuštanju i upinjanju prilično jakim silama (1500...3000 kN po sekciji). Važan je faktor i nosivost neposredne podine u otkopu, zatim oblik otkopa, brzina otkopnog napredovanja te visina i površina otkopanog prostora.

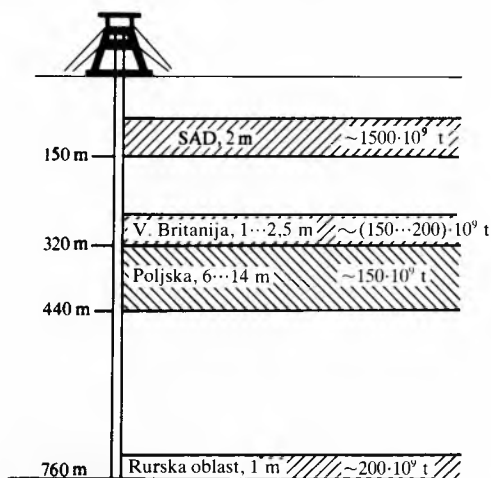


Sl. 1. Zarušavanje krovine: a s vremenskim zakašnjenjem, b tekuće ili kontinuirano zarušavanje

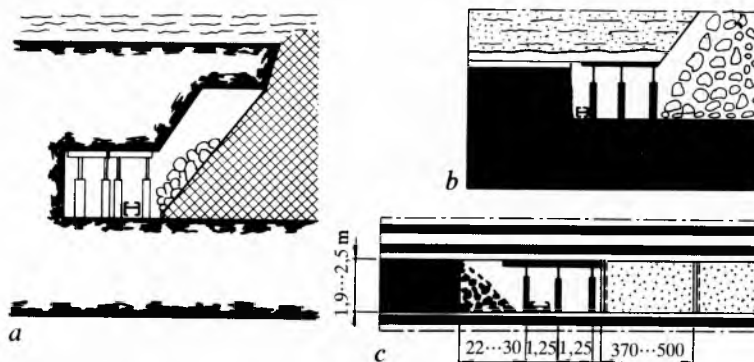


Sl. 2. Raspodela naponskog stanja na otkopu s povećanom natkopnom visinom u jamama Zasavskih ugljenokopa

Kvalitet uglja. Od faktora koji utiču, ponekad i presudno, na odluku o eksploataciji ugljenih slojeva treba spomenuti kvalitet same supstancije, njenu homogenost i čistoću, tj. učestalost jalovih umetaka, te dubinu ležišta. Faktor dubine ne sme se posmatrati sam za sebe, već u kontekstu mnogih drugih elemenata, a naročito lokacije u užem i širem smislu. Na sl. 3 prikazane su prosečne dubine ugljonosnih slojeva i prosečne dubine izvoznih okana za neka značajna svetska ugljonosna područja. Kao što se vidi, u Rurskoj oblasti uglj se dobiva s dubine koja se približava koti od -1000 m, pri čemu treba napomenuti da se najdublji eksploatacijski horizont nalazi na dubini većoj od 1100 m. Najveća dubina s koje se danas dobiva uglj u svetu iznosi 1660 m i nalazi se u rudniku uglja Pieu du Coeur u Belgiji. U Jugoslaviji je najveća eksploatacijska dubina za uglj oko 750 m i nalazi se u Raši (jama Ripenda).



Sl. 3. Dubina ugljenih slojeva, njihove debljine i rezerve nekih svetskih ugljonosnih područja



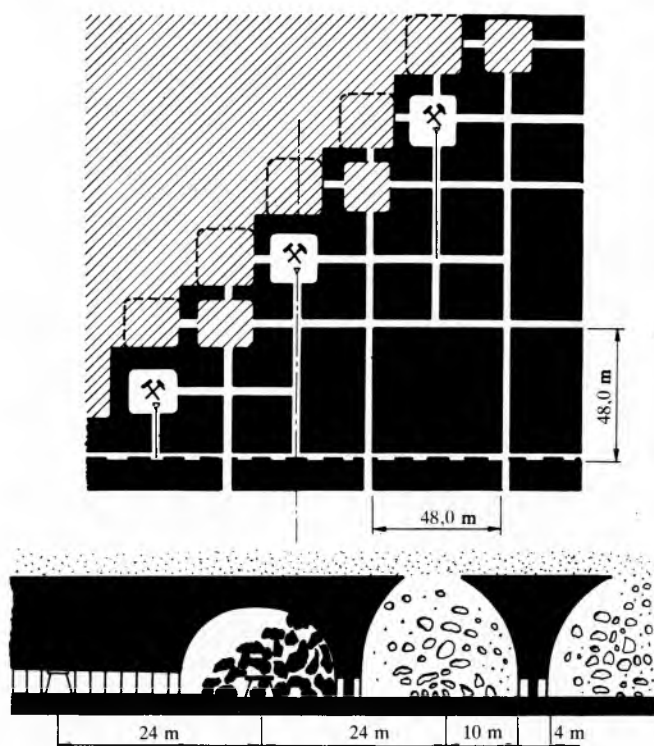
Sl. 4. Sheme širokočelnih otkopnih metoda primenljivanih u Jugoslaviji: a s obrušavanjem ugljenih slojeva, b sa zarušavanjem krovinskih naslaga, c sa zasipavanjem

Principi podzemnog otkopavanja uglja

Prilikom projektovanja podzemnih otkopnih metoda treba udovoljiti nekim opštim i nekim posebnim tehničkim zahtevima. U opšte se ubrajaju sledeći: izvoz treba predvideti samo iz jednog (centralnog) otvora, pojedino radilište treba da daje što veću dnevnu proizvodnju (po mogućnosti veću od 1500 t/d), treba povećati koliko je god moguće napredak na otvaranju (u jalovini) i pripremi (u sloju), isto tako i kapacitet transportnih uređaja, osigurati optimum otkopnog učinka. Posebni su zahtevi usko vezani za specifične prilike u ležištu, a obuhvataju određivanje pravca otkopavanja (*nastupno* ili *odstupno*, tj. od ulaznog jamskog otvora prema granici otkopnog polja ili od te granice prema ulazu), podelu ležišta po visini u horizonte, usvajanje redosleda otkopavanja slojeva.

Vodeći računa o tim uslovima projektuje se metoda s najmanjim otkopnim gubicima uz maksimalan stepen sigurnosti radnika, u skladu s već navedenim principima. U zavisnosti od postupka s krovinom, otkopne metode uglja mogu biti širokočelne i uskočelne, tj. metode kojima se ugljeni sloj otkopava na dugačkom ili uskom frontu (*čelu*). Pored tih metoda mogu se primeniti i kombinovane metode. Na sl. 4 shematski su prikazane osnovne varijante širokočelne metode, i to: s obrušavanjem ugljenog sloja (sl. 4a), sa zarušavanjem krovine (sl. 4b) i sa zasipom (sl. 4c). I uskočelne se metode primenjuju u mnogim varijantama, od kojih treba spomenuti stubne sa zarušavanjem i sa širinom čela do 10 m, zatim komorne i bunkerske. Na sl. 5 prikazana je uskočelna komorna otkopna metoda.

U Jugoslaviji se pomenute metode primenjuju u različitim varijantama. U tabl. 3 nalazi se pregled jamske proizvodnje uglja u Jugoslaviji u 1981. god. po nekim bitnim geološkim elementima i otkopnim metodama; u pogledu otkopnih metoda do danas nije bilo suštinskih izmena. Kako se iz tabl.



Sl. 5. Uskočelna (komorna) otkopna metoda u Velenju

Najvažnije otkopne metode primenjene u Jugoslaviji

Opisane su metode danas karakteristične za otkopavanje ugljenih slojeva u Jugoslaviji. One se, u različitim varijantama, primenjuju u mnogim rudnicima, u zavisnosti od pomenutih uticajnih faktora.

Metoda sa zarušavanjem krovine. Od širokočelnih otkopnih metoda važna je metoda sa zarušavanjem krovine. Ona se primenjuje u Kaknju. Tu se proizvodnja odvija u tri jame. Otkopava se glavni i podinski sloj koji imaju pad od $10^{\circ}\dots 25^{\circ}$ i moćnost od 2,5...8,5 m. Glinovite naslage s moćnošću do 1 m neposredna su krovina, a glavna su krovina laporci i peskoviti peščari debeli do 30 m i više, koji se zarušavaju teže i s većim vremenskim zakašnjenjem. Pri otkopavanju se javljaju pritisci jačeg intenziteta. Otkopava se širokim čelom sa zarušavanjem u jednom pojasu, uz potpunu mehanizaciju dobijanja i podgrađivanja. Dužina čela iznosi 100...150 m (sl. 6), a otkopna je visina do 3,2 m. Otkopni učinak iznosi 13,5 t po nadnici, a na mehanizovanim otkopima, s primenom kombajna i samohodne hidraulične podgrade, dostiže i 20 t po nadnici. Prosečna proizvodnja s otkopa iznosi 745 t/d, a na mehanizovanim dostiže 8...12 t po metru otkopa i po danu. Danas već više od 85% proizvodnje rudnika potiče iz mehanizovanih otkopa. Primena mehanizacije na otkopavanju daje dobre rezultate.

Slični geološki i geomehanički uslovi javljaju se i u rudnicima Zenica, Rembas (Resavica, Senjski Rudnik, Vodna), Kanižarica i nekim drugim gde se primenjuje ista otkopna metoda.

Otkopavanje širokim čelom po padu, ali u dva pojasa, primenjuje se u Brezi (sl. 7). Ugljeni sloj debljine 4,5 m, s padom od $15^{\circ}\dots 30^{\circ}$, podeli se paralelno s padom u dva pojasa,

Tablica 3

JAMSKA PROIZVODNJA UGLJA U JUGOSLAVIJI U 1981. GODINI

	Kameni i mrki uglj		Lignit		Ukupno	
	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%
Ukupna proizvodnja	6900	44,9	8464	55,1	15364	100
Prema padu sloja						
0°...25°	3660	53,1	8464	100	12124	78,8
25°...45°	1865	27,0	—	—	1865	12,2
45°...90°	1375	19,9	—	—	1375	9,0
Prema moćnosti sloja						
< 3,0 m	2630	38,1	104	1,1	2734	17,8
> 3,0 m	4270	61,9	8360	98,9	12630	82,2
Širokočelne otkopne metode sa zasipavanjem sa zarušavanjem u jednoj etaži	6122	88,7	5287	62,5	11409	74,2
	358	5,2	—	—	358	2,3
sa zarušavanjem u dve ili više etaža	2139	31,0	67	0,8	2206	14,4
sa zarušavanjem uz otkopnu visinu do 10 m	855	12,4	550	6,6	1405	9,1
	2770	40,1	4670	55,1	7440	48,4
Uskočelne otkopne metode otkopavanje u komorama stubna otkopna metoda	394	5,7	3092	36,5	3486	22,7
	152	2,2	—	—	152	1,0
	242	3,5	3092	36,5	3334	21,7
Ostale otkopne metode	384	5,6	85	1,0	469	3,1

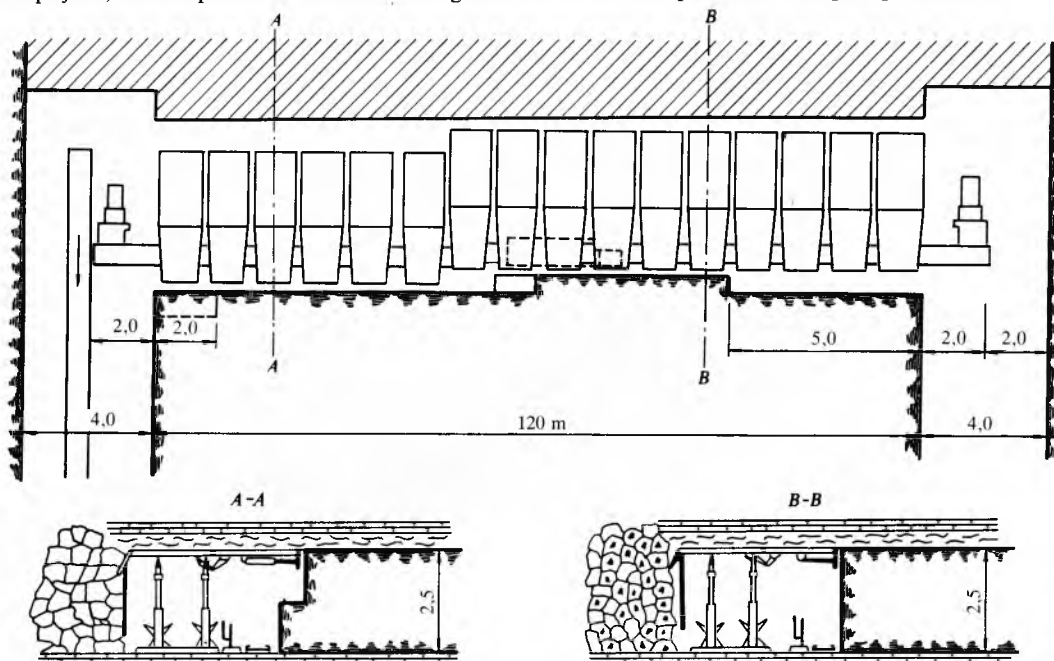
3 vidi, u Jugoslaviji se više od 80% ukupne proizvodnje uglja dobiva iz slojeva debljih od 3 m i više od 50% iz slojeva s padom do 25° . Pri tom se praktički sav lignit dobiva iz takvih slojeva, dok mrkog i kamenog uglja iz slojeva debljih od 3 m ima znatno manje (~60%). Upoređivanjem tih podataka s proizvodnjom iz ranijih godina proizlazi da je udeo proizvodnje iz debljih ugljenih slojeva u stalnom porastu. Dalje se iz tabl. 3 vidi da se glavni deo proizvodnje dobiva širokočelnim otkopnim metodama, oko 75%, od toga blizu 50% s obrušavanjem ugljena u debelim slojevima (do 10 m). Udeo širokočelnih otkopnih metoda i dalje raste, a raste i udeo potpuno mehanizovanih otkopa; u 1981. god. oko 40% ukupne proizvodnje dobiveno je iz takvih otkopa, a delimično mehanizovanih otkopa bilo je nešto više od 30%.

pa se svaki pojas otkopava sa zarušavanjem neposredne krovine na pod od žičane mreže ili okrajaka. Udaljenost između dva otkopa, svakog u svom pojasu, iznosi 25 m. Karakteristično je za tu otkopnu metodu da se priprema za oba otkopa svodi samo na dva hodnika koji se, zavisno od čvrstoće ugljenog sloja, izrađuju u gornjem ili u donjem pojasu; time se znatno skraćuje vrijeme pripremnih radova. Otkopi imaju visinu od 2...2,5 m, a podgrađuju se frikcijskom podgradom. Ugalj se dobiva pomoću kombajna ili miniranja. Dužina čela iznosi do 120 m, otkopni je učinak do 8 t po nadnici, a proizvodnja obaju otkopa dostiže 750 t/d, odnosno 6,2 t po metru otkopa i po danu.

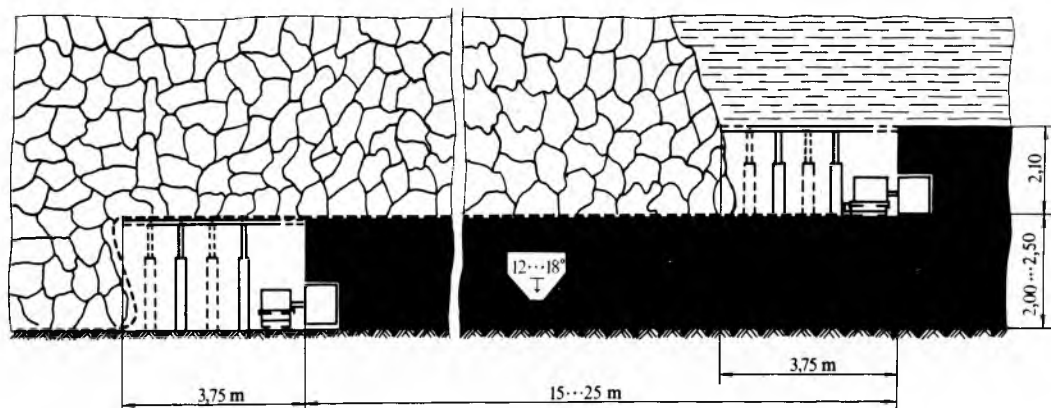
Sličan se sistem otkopavanja, samo u tri pojasa, primenjuje u nekim banovićkim jamama i u rudniku Kamengrad (kod

Sanskog Mosta), i sa sličnim rezultatima. Široko je čelo u pojedinim pojasi dugačko 60 m. U poslednje vreme u tim se rudnicima uvodi mehanizovano otkopavanje istovremeno samo u jednom pojasu, čime se povećava i dužina širokog čela.

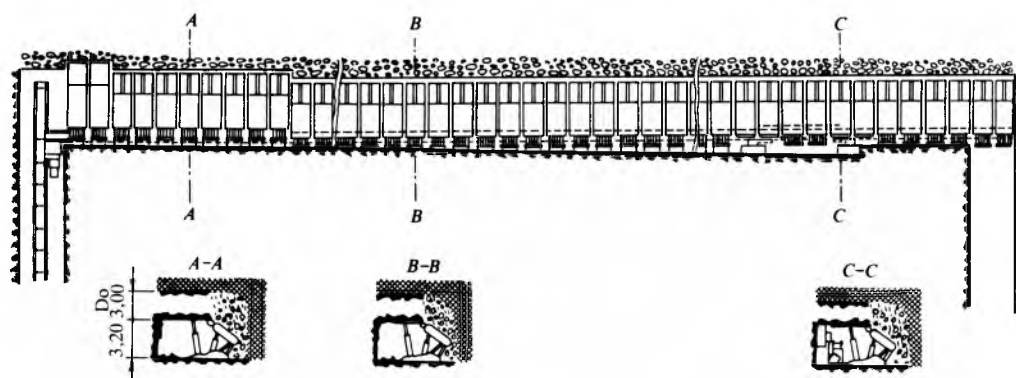
3,2 m, a prema glinovitim naslagama ostavlja se sloj lignita debljine ~3 m kao zaštita. Dužina je čela 80...100 m, otkopni učinak u proseku 20 t po nadnici, a prosečna proizvodnja dostiže 15 t po metru otkopa i po danu.



Sl. 6. Mehanizovana širokočelna otkopna metoda sa zarušavanjem u jednom pojasu



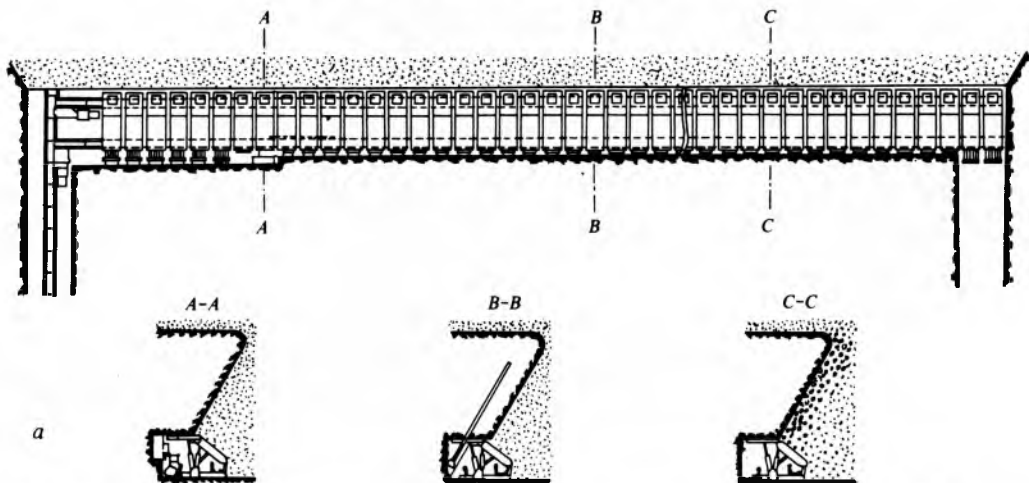
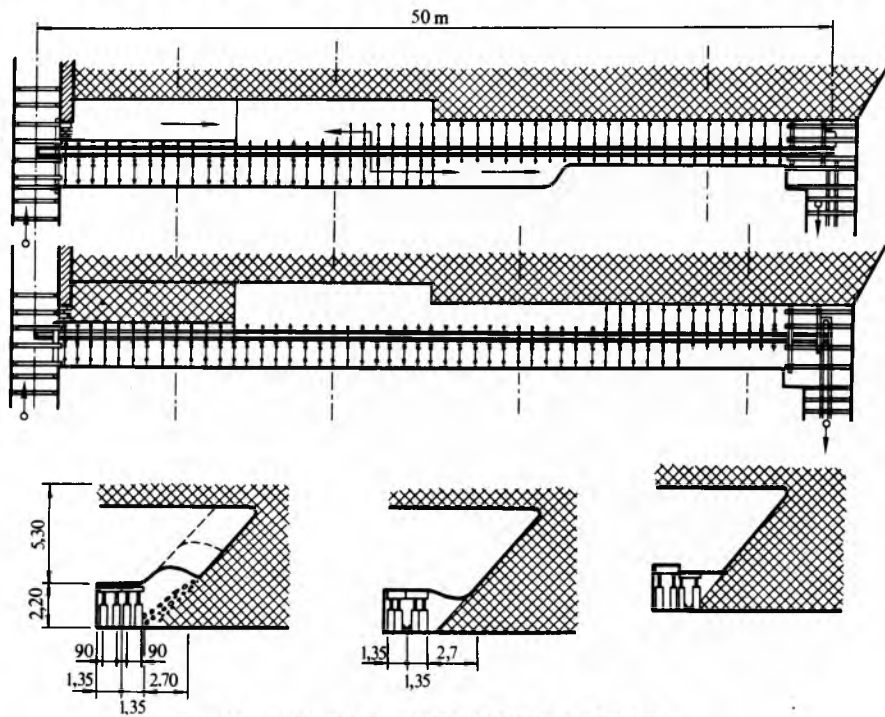
Sl. 7. Širokočelna otkopna metoda po padu sloja u dva pojasa



Sl. 8. Širokočelna otkopna metoda sa zarušavanjem u Velenju

Otkopavanje širokim čelom sa zarušavanjem primenjuje se i u Velenju, i to u jamskim delovima gde se naslage s vodonosnim peskovima približavaju lignitnom sloju u eksploataciji. Na sl. 8 prikazan je takav otkop. Otkopna je visina

Velenjska otkopna metoda specifičan je način eksploatacije debelih lignitskih slojeva koji je razvijen pedesetih godina u Velenju. On je u svetu poznat pod tim nazivom. Posle uspeha u Velenju, s nebitnim je izmenama ili dopunama ta otkopna



Sl. 10. Velenjska otkopna metoda sa samohodnom hidrauličnom podgradom. a shema, b radni snimak

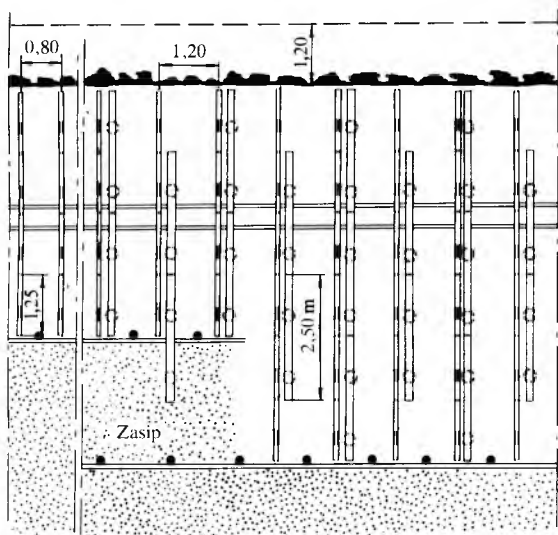
metoda proverena i u mnogim drugim rudnicima, pa se danas kao glavna metoda primenjuje u Zasavskim ugljenokopima (Trbovlju), Kanižarici, Kamengradu, Đurđeviku, Zenici, Brezi, Kaknju (gde to slojne prilike dozvoljavaju), Rembasu, Rudniku Soko, Kreki-Bukinju i u drugim.

Slojevi veće debljine podele se na horizontalne pojaseve s otkopnom visinom od 6...10 m, a dužina otkopnog čela prilagođava se moćnosti sloja i iznosi od 20 (Zagorje, Hrastnik) do 100 m (Velenje). Otkop se po visini deli na potkopni i natkopni deo. Ugalj se u potkopnom delu dobija miniranjem ili, primeni li se kombajn, rezanjem. Podgrađuje se frikcijskom (sl. 9) ili samohodnom hidrauličnom podgradom (sl. 10). Lignit iz natkopnog dela dobija se miniranjem, a mrki ugalj dejstvom samohodne hidraulične podgrade, jer miniranje nije potrebno (sl. 2). Produktivnost u Velenju iznosi, prosečno, 32,5 t po nadnici na mehanizovanim, odnosno 15,6 t po nadnici na nemehanizovanim otkopima. U drugim je rudnicima učinak nešto niži. Proizvodnja u Velenju iznosi na mehanizovanim otkopima prosečno 1380 t/d, odnosno 12,7 t po metru čela i po danu, dok se na najboljim otkopima postiže prosečno već i ~1910 t/d, odnosno oko 20 t po metru čela i po danu.

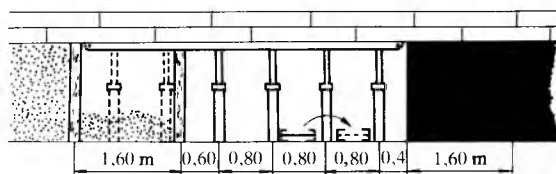
Velenjska otkopna metoda sudeluje danas u ukupnoj jamskoj proizvodnji jugoslovenskih ugljenokopa sa 48,4%, a njena primena širi se i dalje, što znači da dobro odgovara geološkim i rudarsko-tehničkim prilikama u nas.

Širokočelna otkopna metoda sa zasipavanjem primenjuje se, između ostalog, i u Istarskim ugljenokopima Raša. Jamski se otkopavaju slojevi kamenog uglja eocenske starosti, s moćnošću koja varira između 0,8 i 2,5 m, s ulošcima kozinskog krečnjaka do 0,6 m, tektonski prilično poremećeni, i s varijabilnim padom od 5 do 25°. Poremećenost je izrazito mikrotektonska, s prosečno do 3,8 preloma na 100 m otkopa. Neposrednu krovinu i podinu čine krečnjaci velike čvrstoće i elastičnosti, što iziskuje zasipavanje otkopanih prostorija.

Tloort



Presek



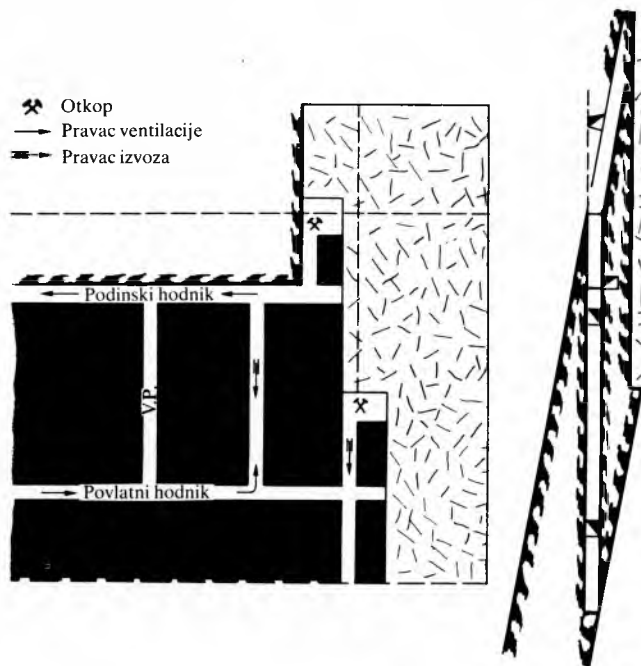
Sl. 11. Širokočelna otkopna metoda sa zasipavanjem u Raši

Primenjuje se širokočelna otkopna metoda s pneumatskim zasipom (sl. 11). Dužina čela iznosi, ako je to moguće, do 120 m, a otkopna visina zavisi od debljine sloja, odnosno od kombinacije slojeva s kamenim ulošcima, i najčešće nije veća

od 3 m. Otkopni učinak varira i iznosi od 2...6 t po nadnici, odnosno u proseku 3,2 t po nadnici. Proizvodnja otkopa iznosi prosečno 1,5 t po metru otkopa i po danu.

Zbog izrazite mikrotektonike i prošaranosti sloja kamenim umecima, mehanizovani su samo utovar, transport i zasipavanje, ali ne i sam rad na otkopu. Uslovi su eksploatacije veoma teški.

Krekanska otkopna metoda. Od uskočelnih otkopnih metoda u Jugoslaviji najraširenija je stubna ili komorna metoda (sl. 12) koja se naziva i krekanska otkopna metoda. Glavna je karakteristika te metode otkopavanje ugljenih slojeva u uskim stubovima kojih širina najčešće nije veća od 8 m. Otkopna je visina prilagođena prilikama, te u rudnicima mrkog uglja dostiže 3,2 m, a u lignitskim jamama obuhvaća i čitavu slojnu debljinu, ali ne prelazi 10 m.



Sl. 12. Uskočelna (stubno-komorna) otkopna metoda u Kreki

Metoda se primenjuje u krekanskom lignitskom bazenu. Ugljeni se slojevi podele na horizontalne etaže, a otkopna polja, smernim hodnicima, na stubove dužine 20...60 m i širine do 10 m. U jednom su otkopnom polju istovremeno u radu 2...3 otkopa. Rad je ručni, s miniranjem uglja i s frikcijskom čeličnom podgradom. Stepenn koncentracije proizvodnje veoma je nizak, pa je i prosečna proizvodnja jednog otkopa svega 120 t/d. Otkopni učinak u lignitskoj jami Bukinje-Lipnica iznosi 11,2 t po nadnici, a u jami Dobrinja-Lukavac do 13,7 t po nadnici. I u rudnicima mrkog uglja tog bazena proizvodnja nije mehanizovana, pa se tom istom otkopnom metodom postiže niska produktivnost od 5...7,5 t po nadnici.

Krekanska otkopna metoda daje danas 21,7% ukupne jamske proizvodnje uglja u Jugoslaviji. Karakterišu je nizak kapacitet otkopa i niski otkopni učinci. Kako, uz to, pri njoj primeni nije moguće ni mehanizovano podgrađivanje ni dobijanje, rudari su na otkopu izloženi velikim fizičkim naporima. Radi se na njenoj izmeni, odnosno zameni.

LIT.: R. Ahčan, Methods of Working Thick Coal Seams in Yugoslavia. Symp. Methods of Working Thick Coal Seams, United Nations, N. York, Proc. II, New York 1968. – B. Genčić, Tehnološki procesi podzemne eksploatacije slojevitih ležišta. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd 1971. – Г. М. Ляхов, Разработка угольных месторождений. Недра, Москва 1978. – R. H. Bachstroem (Edit.), German Longwall Mining. Verlag Glückauf, Essen 1985.

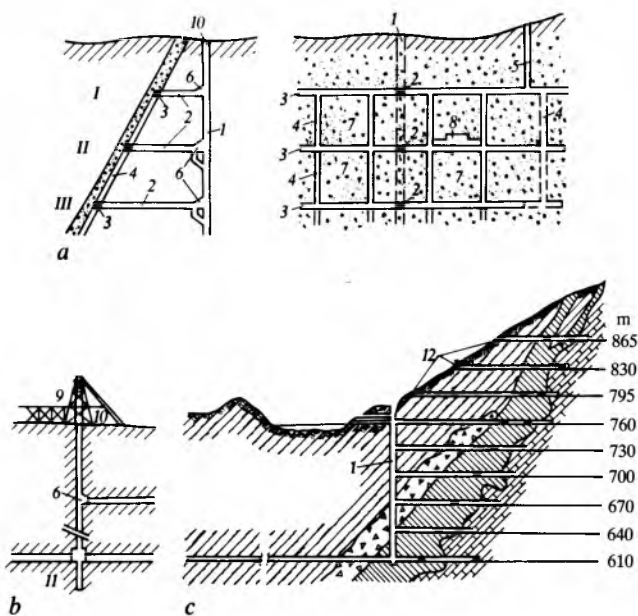
RUDARSTVO, OTVARANJE RUDNIKA, izrada jamskih objekata za vezu između površine i nalazišta mineralne sirovine. To su transportni i vjetreni putovi koji služe za prilaz radilištima, za odvođenje proizvoda sirovine, dovođenje potrebnog materijala i opreme, te za dovodenje i odvođenje zraka.

Kako je svrha rudnika dobivanje mineralnih sirovina, *otkopno radilište* ili *otkop* najvažnija je jamska prostorija, te se sve ostale jamske prostorije izrađuju samo radi osiguravanja potreba otkopa. Sve te prostorije spadaju u prostorije *otvaranja* i *pripreme*.

Prostorije otvaranja obično se izrađuju u jalovini i služe za vezu radilišta s površinom, dok su prostorije pripreme mahom u samom rudnom tijelu te omogućuju prilaz od granice rudnog tijela do radilišta i dijele rudno tijelo na otkopne odsjeke. Osim osiguravanja prilaza radilištima, otvaranje ima i drugu važnu funkciju. Njime se rudište dijeli na horizonte i radne odjele, po vertikali i horizontali. Već prema raspodjeli rudnih tijela u ležištu, njihovoj međusobnoj udaljenosti, količini mineralne sirovine, opsegu proizvodnje i životnog vijeka predviđenih prostorija, radovi se na otvaranju izvode ili za cijelo ležište zajedničkim zahvatima s površine, pa se pojedini dijelovi ležišta paralelno s produbljivanjem jame i izgradnjom novih horizonata te širenjem jame priključuju na zajedničke površinske objekte, ili se dijelovi ležišta otvaraju samostalnim objektima s površine. Umješnost jednog ili drugog rješenja treba odrediti s obzirom na visinu investicijskih i eksploatacijskih troškova. Pri otvaranju veoma dubokih ležišta prednost valja dati rješenju sa zajedničkim objektima, dok plitka ležišta treba otvarati pojedinačnim objektima s površine.

OBJEKTI OTVARANJA

Osim od već spomenutih faktora, način otvaranja ležišta zavisi i od konfiguracije terena. Tako se u brdovitim krajevima, kad se ležište nalazi iznad dna doline, otvaranje najsvrsishodnije ostvaruje *potkopom*, a kad se ležište nalazi ispod dna doline ili u ravničarskom kraju, *niskopom* ili okomitim, odnosno *kosim oknom* ili *šahtom*. Na razini horizonta niskop ili okno vezani su *navozištem* ili, ponekad, i odvozištem s mrežom horizontalnih hodnika, koji se po svojem položaju u ležištu nazivaju glavni *smjerni hodnik*, glavni *prečnik* ili podređeni *revirni prečnik*.



Sl. 1. Objekti rudarskog otvaranja. a) otvaranje strmog ležišta oknom, b) dijelovi okna, c) otvaranje strmog ležišta potkopima i oknom (Trepča); 1 izvozno okno, 2 prečnik, 3 smjerni hodnik, 4 uskop, 5 niskop, 6 navozište, 7 otkopno polje, 8 otkop, 9 odvozište, 10 ušće okna, 11 kaliste (dno okna), 12 potkop, I-III horizonti

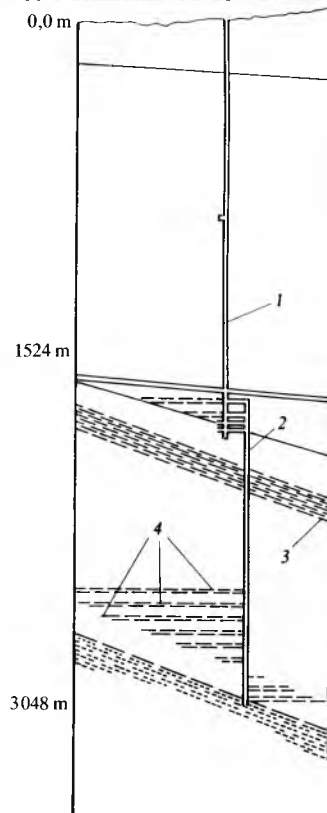
Termin *horizont* u rudarskoj terminologiji može označivati dva pojma. Najčešće je to mreža hodnika na razini transportnih i vjetrenih priključaka na okno. Pritom su rudna tijela većeg okomitog prostiranja priključena na okno u dvije razine; mreža pruga na razini donjeg priključka obično je tzv. izvozni horizont, a na razini gornjeg priključka vjetreni ili ventilacijski horizont (sl. 1). Osim toga, horizont može označivati i stijensku masu s rudnim tijelima između obiju razina. Pri velikoj visini blok se može intermedijarnim horizontima (*međuhorizontima*) podijeliti i na više dijelova. Obično međuhorizonti nemaju neposrednu vezu s oknom, nego su vezani za izvozni vjetreni horizont *sljepim oknima* ili *uskopima*.

Potkop (rov) horizontalan je ili blagousponski jamski objekt za prilaz ležištu koje se nalazi iznad dna doline (sl. 1c). U usporedbi s drugim načinom otvaranja, potkop je jednostavno, brzo i jeftino tehničko rješenje kojim se omogućuje uspješan izvoz, gravitacijsko odvodnjavanje jame i jednostavno vjetrenje. Ipak, otvaranje potkopom više nema velike važnosti jer je otkopavanje ležišta u brdovitim područjima uglavnom već doprlo u dubine ispod dna dolina.

Okno (šaht) okomit je ili strm jamski objekt između površine i izvoznog ili vjetrenog horizonta. Nekada se oknima povezuju jamski horizonti tako da ne dopiru na površinu. To su *sljepa okna*. Istu funkciju imaju i *niskopi*. Među niskopom i kosim oknom nema oštre granice. Niskopima se obično nazivaju manje strmi jamski objekti za spoj površine i horizonata, ili za spoj među horizontima.

Kao granica bi se mogla uzeti strmina koja još omogućuje gradnju po metodi i sredstvima za gradnju horizontalnih i blagonagnutih jamskih pruga, odnosno već iziskuje primjenu postupaka za gradnju okna.

Okna služe za istražne radove, kao putovi za izvoz otkopanog materijala (iskopine), za prijevoz radnika, materijala i opreme, te kao kanali za dovod i odvod zraka. Dubina okna zavisi od dubine ležišta, a nastoji se da se ležište dostigne pomoću jednog okna s površine ako je to moguće. Tehnološki je to moguće, ali bi pri dubinama većim od ~2200 m težina izvozne užadi znatno smanjila količinu korisnog tereta, a i vrijeme bi vožnje u oknu postalo predugo, iako se u modernim postrojenjima vozi već i brzinama od 18-20 m/s.



Sl. 2. Sistemi otvaranja veoma dubokog ležišta. 1 glavno okno, 2 sljepo okno, 3 vodonepropusne stijene, 4 horizonti