

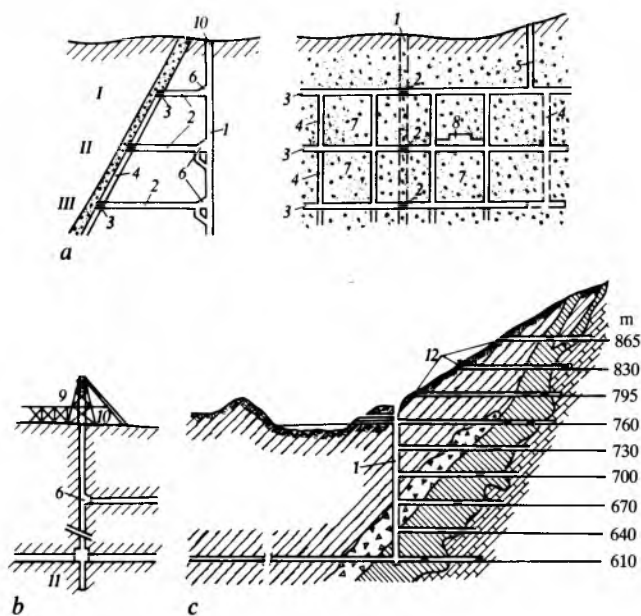
RUDARSTVO, OTVARANJE RUDNIKA, izrada jamskih objekata za vezu između površine i nalazišta mineralne sirovine. To su transportni i vjetreni putovi koji služe za prilaz radilištima, za odvoženje proizvode sirovine, dovođenje potrebnog materijala i opreme, te za dovođenje i odvođenje zraka.

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 izvorno 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

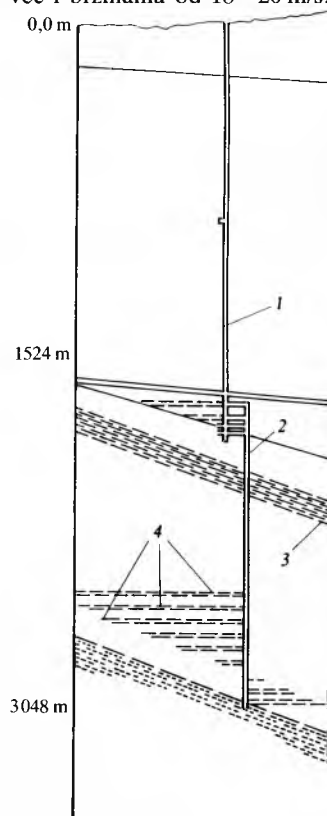
Termin *horizont* u rudarskoj terminologiji može označivati dva pojma. Najčešće je to mreža hodnika na razini transportnih i vjetrenih priključaka na okno. Pritom su rudna tijela većeg okomitog prostiranja priključena na okno u dvije razine; mreža pruga na razini donjeg priključka obično je tzv. izvorni 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 *slijepim 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 *slijepa 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 horizontata, 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.



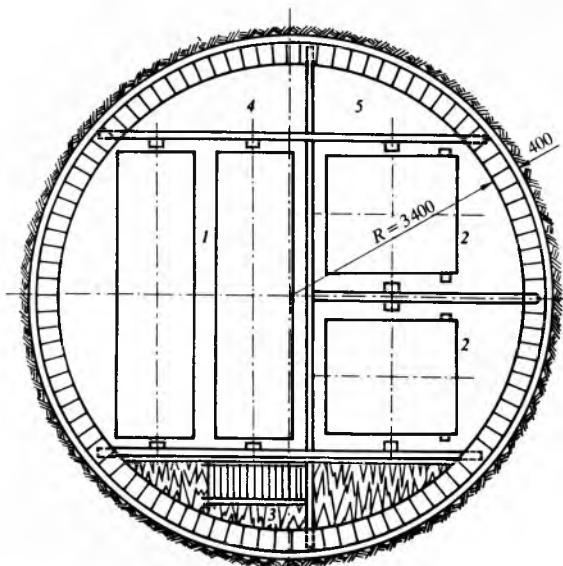
Sl. 2. Sistemi otvaranja veoma dubokog ležišta. 1 glavno okno, 2 slijepo okno, 3 vodonepropusne stijene, 4 horizonti

Zato se ležišta na većim dubinama otvaraju kombinirano (sl. 2). Nakon izgradnje okna do neke određene dubine, što u prvom redu zavisi od primijenjene metode dubljenja, samo se ležište otvara slijepim oknom.

U Evropi je danas najdublje okno Prokop u Příbramu u Čehoslovačkoj (1650 m), na polimetalnom uranonosnom ležištu. Jednako je duboko i okno ugljenokopa u Ouaregonu u Belgiji, što je velika rijetkost, jer se ugljen mahom otkopava na manjim dubinama (v. *Rudarstvo, Podzemno otkopavanje slojevitih ležišta*). Najdublje okno u Jugoslaviji nalazi se u rudniku Stari Trg u Trepči (745 m).

Trenutno (1987) najdublji jamski radovi, otvoreni prema shemi na sl. 2, odvijaju se u Indiji i Južnoj Africi. U rudniku zlata firme East Rand Prospectory u Južnoj Africi radi se na dubini od 3750 m, a predviđeno je napredovanje i do dubine od 4330 m. I u rudniku zlata Kolar u indijskoj državi Mysore radi se na dubinama od oko 3700 m.

Presjek okna može biti okrugao, pravokutan, kvadratičan, eliptičan ili može imati oblik četiriju svodova koji se naslanjaju jedan na drugi. Najčešći je okrugao presjek (sl. 3). Dimenzije zavise od veličine, vrste i količine izvoznih posuda, od veličine ostalih uređaja koje treba ugraditi, od količine zraka koju treba dovoditi u jamu, pa i od stijena kroz koje okno prolazi. Maksimalne promjere, do 9 m, imaju spomenuta najdublja okna; takve su dimenzije potrebne da bi se u jamu mogle dopremiti velike količine svježeg zraka.



Sl. 3. Presjek izvoznog okna. 1 koševi, 2 skip, 3 odjeljak za prolaz, 4 i 5 odjeljci za cijevi i kabele

Pravokutni oblik uobičajen je za kosa okna. Ako je potreban samo jedan radni odjel, oblik se približava kvadratičnom, a pri više potrebnih odjela presjek je okna sve istegnutiji pravokutnik. U jako tvrdim stijenama prednost imaju i okomita okna kvadratičnog presjeka, a drugdje okna s okruglim presjekom. Pritisak je okolnih stijena po obodu ravnomjeran, podgrada za preuzimanje tog pritiska ima optimalan oblik, a pri kružnom je profilu optimalan i omjer između duljine oboda i površine presjeka. Konačno, samo je pri okruglim oknima osigurana mogućnost vodonepropusne izrade. Nedostatak je okruglih okana neiskorištenost nekih segmenata zbog pravokutnih oblika odjela u presjeku. S dubinom i veličinom presjeka prednosti okruglog okna rastu.

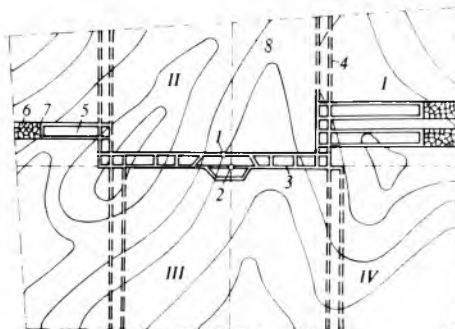
Kako je funkcija rudničkih objekata otvaranja osiguranje optimalne veze između površine i jame, lociranje je tih objekata veoma važno. Glavni su činioci pri tome: trajanje izgradnje, mogućnost jednostavne izgradnje horizonata, svojstva stijena, gubici mineralne sirovine u neophodnim sigurnosnim stupovima i mogućnost smještaja potrebnih površinskih objekata. U načelu, optimalno mjesto za otvaranje jame jest ono gdje je minimalan broj investicijskih i eksploatacijskih troškova. Međutim, često najmanji eksploatacijski troškovi iziskuju velika investicijska ulaganja ili pak uzrokuju gubitke u sirovinским rezervama u sigurnosnim stupovima.

Za osiguranje okana i površinskih rudničkih objekata moraju se ostavljati *sigurnosni stupovi*. To su dijelovi ležišta oko rudničkih objekata ili ispod njih koji se ne eksploatiraju sve dok ti objekti moraju biti u funkciji, jer bi se otkopavanjem zbog slijezanja terena i zarušavanja mogli oštetiti. Sigurnosni stupovi potpuno ili djelomično ostavljeni u rudi ponekad vezuju i znatne količine korisne sirovine, pa se oni nastoje izbjeći. To je pri strmim slojevima moguće lociranjem okana u podini, što treba pokušati naročito kad su slojevi debeli, iako se tada znatno povećava duljina transporta. Pri horizontalnim ili slabonagutim tankim ili srednjedebelim slojevima gubici u sigurnosnim stupovima teško se mogu izbjeći, pogotovo u većim ležištima.

Kad se određuje lokacija okna, osobito je važna dovoljno velika površina oko njegovog ušća; samo za ranžirni kolodvor kad se predviđa željeznički transport potrebna je najmanje 600 m duga horizontalna površina za kolosijeka.

U praksi se obično postupa tako da se okno locira s obzirom na najmanji opseg izgradnje mreže hodnika na horizontima i transportne mreže, pa se tako određena lokacija korigira prema utjecaju ostalih faktora.

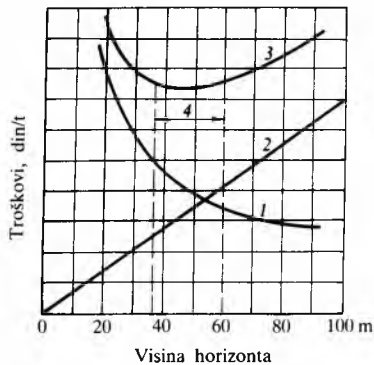
Horizont je mreža glavnih smjernih i prečnih hodnika kojom se na izabranoj razini okno povezuje s dijelovima ležišta. U horizontalnim slojevitim ležištima to je mreža hodnika po sloju mineralne sirovine (sl. 4). To je najekonomičnije rješenje, čak i kad se glavni spojevi moraju izvesti pomoću nekoliko paralelnih hodnika. Paralelni su hodnici potrebni radi vjetrenja, pri čemu su izlazni i ulazni vjetreni hodnici u istoj ravnini na razmaku od 20...50 m. Ipak, formiranje je vjetrenih odsjeka otežano, i to je jedan od nedostataka takva otvaranja. Drugi su problem hodnici u pravcu, kad su slojevi valoviti, kakvi su potrebni za transport trakama. Praćenje plitkih dolina i niskih prijevoja u jami otežava odvodnjavanje, a trasiranje s potrebnim ravnomjernim usponom iziskuje gradnju velikih krivina, što isključuje transport trakama. U kosim ili strmim slojevima mreža hodnika koja spaja okno s revirima mora se izgraditi u dvije razine. To je potrebno i za otvaranje grupe horizontalnih slojeva na maloj međusobnoj udaljenosti. Tada se oba horizonta, donji izvozni i gornji vjetreni, izrađuju u jalovini. To je skuplja i sporija izrada, ali je prednost u tome što se ne otvara samo jedan sloj nego mreža hodnika služi cijeloj skupini slojeva, a njihovo je održavanje jeftinije.



Sl. 4. Mreža hodnika na horizontu u horizontalnom ležištu (I-IV dijelovi ležišta). 1 i 2 okna, 3 glavni hodnik za otvaranje, 4 hodnik za otvaranje otkopnog polja, 1, 5 otkopni stup, 6 stari rad, 7 otkop (radilište), 8 strukturne linije

Otvaranje na dvije razine iziskuje prethodno donošenje odluke o *visini horizonta*, tj. o međusobnom razmaku izvoznog i vjetrenog horizonta. Visina horizonta određuje se prema kriteriju minimalnog zbroja investicijskih i eksploatacijskih troškova (sl. 5). Investicijski troškovi obuhvaćaju troškove gradnje i opremanja novog horizonta, a opadaju s povećanjem visine horizonta, jer s povećanjem visine brže rastu rezerve mineralne sirovine zahvaćene tim horizontom nego što rastu troškovi gradnje i opremanja. Tome nasuprot, eksploatacijski troškovi, tj. troškovi transporta, vjetrenja, odvodnjavanja i dobivanja rude rastu. S povećanjem visine horizonta povećava se i duljina transportnih putova, a time i

vrijeme prijevoza radnika. Veliko bogatstvo mineralne sirovine horizontalnog masiva djeluje na smanjivanje visine horizonta, a u ležištima s tanjim slojevima na većim međusobnim udaljenostima visina horizonta mora se povećati.



Sl. 5. Grafičko određivanje optimalne visine horizonta. 1 investicijski troškovi, 2 eksploatacijski troškovi, 3 ukupni troškovi, 4 područje optimuma

Kad se frontalno otkopava širokim čelom po padu (v. *Rudarstvo, Otkopavanje mineralnih sirovina, Podzemno otkopavanje slojevitih ležišta*), treba uzeti u obzir i duljinu čela. Visina se horizonta tada rijetko kada uzima kao jednokratna okomita visinska razlika između izvoznog i vjetrovog otkopnog hodnika, nego obično kao višekratna razlika.

Iz svih tih razloga razlike u visinama horizonta veoma su velike. U evropskim rudnicima kamenog ugljena ta visina iznosi 100...200 m, u rudnicima metala u strmim ležištima 30...60 m, a u položitijim samo 20...25 m. Veće visine horizonta u rudnicima metala moguće su samo kad se primjenjuje metoda podetažnog zarušavanja, do 75 m, a kad se primjenjuje metoda zarušavanja bloka, i do 150 m.

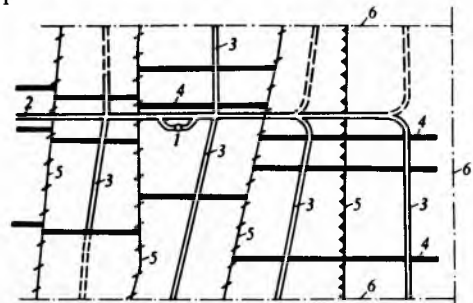
Navozište i odvozište. Navozište je rudarska prostorija u jami kojom se horizontalni transport po mreži hodnika na horizontu spaja s kosim ili okomitim izvozom na površinu (sl. 1). Ono je dimenzionirano tako da se ugradnjom pogodne opreme mogu kompenzirati manji zastoji u transportu po hodnicima, odnosno u oknu, radi punog iskorištenja transportnih uređaja. Zato u navozištu mora postojati i mogućnost uskladištenja određene količine iskopine. Navozište ima i funkciju izlazno-ulaznog punkta za prijevoz radnika oknom i pretovarne stanice za prijevoz materijala. Kapacitet navozišta mora biti za ~20% veći od kapaciteta uređaja za transport hodnicima s jedne, odnosno kapaciteta uređaja za izvoz oknom s druge strane. Veličina i oblik navozišta stoga zavise od potrebnog kapaciteta transporta, od transportnog sistema u hodnicima, odnosno u oknu, od količine izvoznih naprava u oknu, od smjerova kojim se iskopina doprema do okna. S obzirom na raznovrsnost potreba, u rudnicima ima veoma različitih navozišta i po veličini i po obliku.

Odvozište je mjesto na ušću okna za povezivanje jamskog izvoza s transportnim uređajima na površini. Ono može biti na razini okna ili toliko izdignuto nad tom razinom da se dobije visina za prijemne bunkere (kao na sl. 1b). Bunker su vagonetima u kružnom toku spojeni s ušćem okna tako da puni vagoneti automatski gravitacijski odlaze do bunkera i prazni se vraćaju do okna.

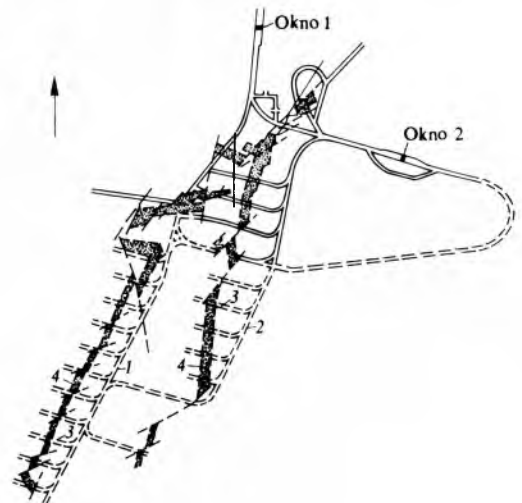
Mreža hodnika na horizontu ima svrhu da pojedine dijelove ležišta povezuje s objektima koji jamu spajaju s površinom (to su niskop ili okno). Služi za transport iskopine, materijala, opreme i radnika, dovodenje i odvođenje zraka, odvodnjavanje i smještaj svih potrebnih cijevnih, energetskih i drugih instalacija. Općenito, mreža se sastoji od jednog ili dva glavna smjerna hodnika i više prečnika, izrađenih približno okomito na smjerne hodnike, koji omogućuju prilaz pojedinih dijelovima ležišta.

Glavni smjerni hodnik izrađuje se u smjeru uslojenosti i povezuje okno s prečnicima. Pri ravnomjernoj raspodjeli rudonosnih slojeva i velikom smjernom prostiranju izrađuje

se samo jedan glavni smjerni hodnik od okna do oba krajnja prečnika blizu granice otkopnog polja (sl. 6). Kad je sirovina koncentrirana u dvjema zonama na većoj međusobnoj udaljenosti, izrađuju se dva smjerna hodnika (sl. 7). Kad se otvara s jednim ili s više glavnih smjernih hodnika, moraju se radi prilaza do pojedinih rudnih tijela izraditi i tzv. *revirni prečnici*. Razmak između prečnika mjerodavan je za veličinu revira ili sektora. Termin označuje blok stijenskog masiva između izvoznog i vjetrovog horizonta priključen za cijelu jamu jednim prečnikom.

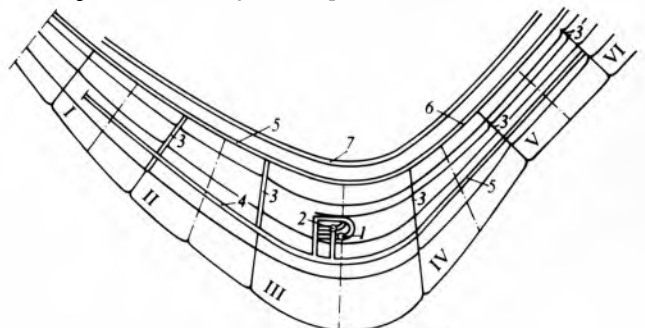


Sl. 6. Mreža hodnika s jednim glavnim smjernim hodnikom. 1 okno, 2 smjerni hodnik, 3 prečnici, 4 ugljeni slojevi, 5 tektonske granice, 6 granica otkopnog polja



Sl. 7. Mreža hodnika s dva glavna smjerna hodnika. 1 i 2 smjerni hodnici, 3 prečnici, 4 rudna žica

Smjerna duljina revira ili sektora jednaka je za jednokrillno otkopavanje razmaku između dvaju prečnika, a za dvokrillno otkopavanje (sl. 8) polovici tog razmaka. U ležištima bez prirodnih tektonskih granica razmak između prečnika određuje se eksploatacijskim projektom. Odluka je veoma važna jer utječe na kapacitet i proizvodne troškove. Što je manji razmak, to je više sektora i mogućnosti za više radilišta, ali se povećava i duljina hodnika za otvaranje i rastu investicijski troškovi. Smanjivanjem razmaka smanjuje se i duljina otkopnih stupova i radni vijek otkopa i, obratno, povećanjem se



Sl. 8. Mreža hodnika na horizontu s revirnim (ili odjelnim) prečnicima i dvokrillnim otkopavanjem. I...VI otkopna polja (reviri), 1, 2 okna, 3 revirni prečnici, 4, 5 glavni izvozni smjerni hodnici, 6 glavni vjetrovi hodnik, 7 vjetrovi hodnik

produljuje vijek otkopnih hodnika. Ako je ležište rasjedima razlomljeno na pojedine blokove, veličina sektora prilagođava se tim prirodnim granicama.

Međuhorizonti. Mrežom hodnika na horizontu završavaju se radovi na otvaranju jame samo ako se cijela visina horizonta može otkopati jednim otkopom. To je često moguće u veoma strmim slojevima, u žicama ili nepravilnim rudnim tijelima. Kad su slojevi položiti, nagnuti ili vodoravni, visina je horizonta prevelika, pa blok stijenskog masiva između izvoznog i vjetrovog horizonta treba razdijeliti još i na međuhorizonte. Takvi se međuhorizonti veoma često otvaraju pomoću slijepih okana i kratkih prečnika. Međuhorizonti su veoma česti i u eksploataciji velikih rudnih tijela metalnih mineralnih sirovina i nemetala. Hodnici na međuhorizontima služe kao transportni prilazni i vjetreni hodnici, a s hodnicima se na horizontu spajaju iskopima ili rampama beskolosiječnim transportnim sredstvima. Održavanje je uskoka skuplje.

IZRADA OBJEKATA OTVARANJA

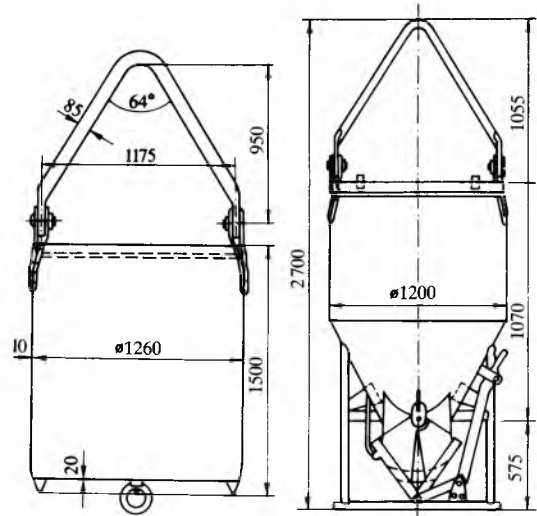
Među objekte otvaranja ubrajaju se okna te horizontalni i kosi objekti otvaranja.

Dubljenje okana

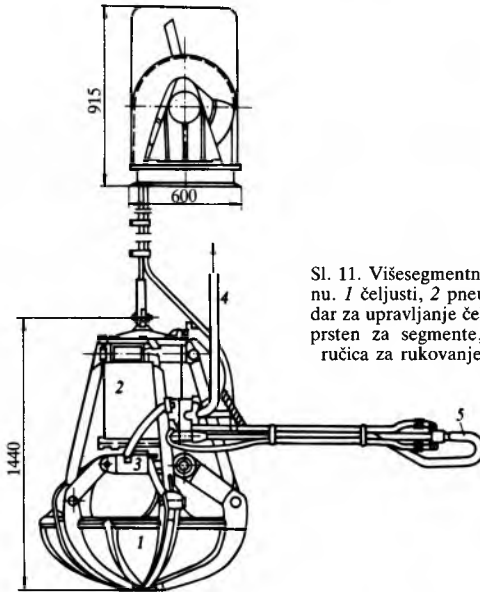
Dubljenje okna u normalnim prilikama. Normalne prilike za dubljenje okna znače da je stijena dovoljno čvrsta da može ostati bez podgrade, ili tek s lakom privremenom podgradom sve do izrade definitivne podgrade, i da prtok vode na gradilište nije veći od 50 L/min. Tada se okno može izdubiti normalnim metodama dubljenja, a to su u prvom redu dvije metode, uzastopna i paralelna. Prema objemu kanal se okna podijeli na sekcije od najmanje 2 ili 3 m do najviše 80 m duljine, već prema tvrdoći stijene. U sekciji se materijal iskopa bez podgrađivanja ili s privremenom podgradom, a zatim se prema uzastopnoj metodi (sl. 9) prekida iskop i sekcija se definitivno podgradi, dok se prema paralelnoj

metodi za vrijeme ugrađivanja definitivne podgrade može nastaviti iskop sljedeće niže sekcije.

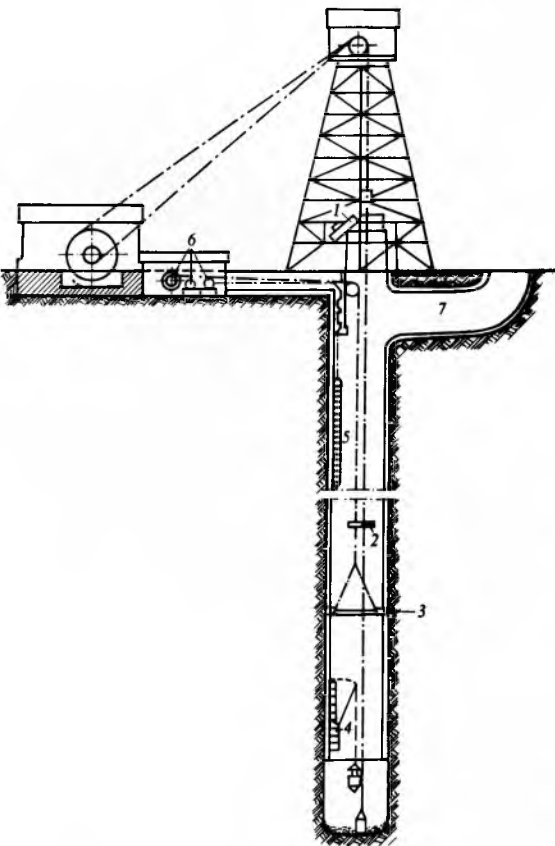
Ako je stijena tvrda, mora se bušiti i minirati, inače se, u mekšim stijenama, radi otkopnim čekićima (v. *Bušaći čekići*, TE 2, str. 551). Odminirani ili iskopani materijal izvlači se izvoznim posudama (vjedrima) obujma od 1,5...2 m³ (sl. 10). Ručni utovar rijetko se primjenjuje, i to u oknima malog



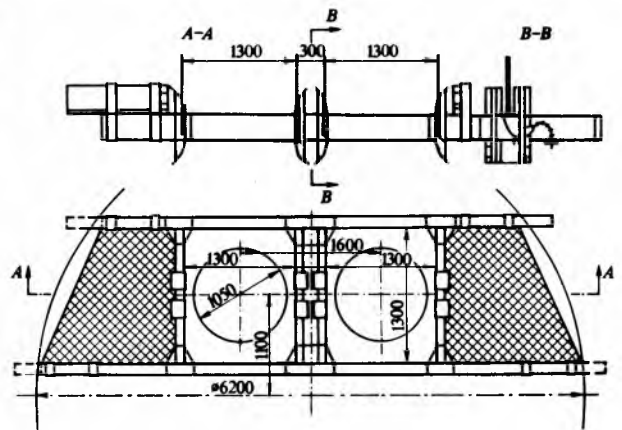
Sl. 10. Vjedro za iskopinu (a) i za beton (b) (dimenzije u mm)



Sl. 11. Višesegmentna grabilica za iskopinu. 1 čeljusti, 2 pneumatski potisni cilindar za upravljanje čeljustima, 3 priključni prsten za segmente, 4 odvod zraka, 5 ručica za rukovanje (dimenzije u mm)

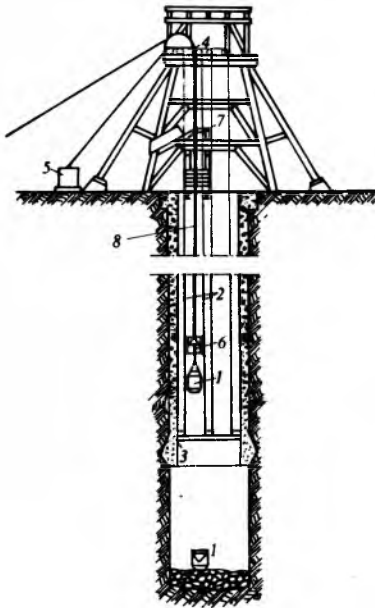


Sl. 9. Dispozicija pri dubljenju okna uzastopnom metodom. 1 istovar vjedra, 2 platforma za zatezanje užadi, 3 radna platforma, 4 dizalica za utovar, 5 koš za izvoz ljudstva u nuždi, 6 vitlo za radnu platformu, za koš pri opasnosti i dizalicu, 7 vjetreni kanal



Sl. 12. Vođenje vjedra (dimenzije u mm)

promjera i male dubine. Za takav rad uzimaju se grabilice s višesegmentnim čeljustima, s pogonom na komprimirani zrak (sl. 11). Kad se izvozi vjedrima pomoću užeta, na ušću se okna postavlja izvozni toranj s platformom za užetnicu i platformom za pražnjenje vjedara, te jakom platformom s vratima nad ušćem. Kao izvozni stroj najčešće se uzima stroj s bobinama i plosnatim užetima. Vjedra se vode preko užetnih vodilica koje se produljuju kako dubljenje napreduje (sl. 12). Užeta su u potrebnoj najvećoj duljini navijena na bubnjeve na ušću okna i preko užetnica spuštena u okno. Blizu dna užeta su zategnuta za pokretni zatezni okvir ili platformu. Na sl. 13 shematski je prikazana dispozicija uređaja pri normalnom dubljenju okna.



Sl. 13. Dispozicija uređaja pri dubljenju okna u normalnim prilikama. 1 izvozno vjetro, 2 užetne vodilice vjedra, 3 zatezni okvir, 4 užetnica, 5 užetno vitlo, 6 klizni okvir vjedra, 7 istovarna platforma, 8 izvozno uže

Ako stijena nije dovoljno čvrsta da se do definitivnog podgrađivanja može ostaviti bez podgrade, ugrađuje se privremena podgrada, obično u obliku prstenova od profilnog čelika, s gustom ili isprekidanom oplatom, ali se u posljednje vrijeme sve više primjenjuje i sidrenje u kombinaciji sa žičanom mrežom i torkretiranjem (v. *Beton*, TE 2, str. 1).

Definitivna podgrada okna mora bez bitnih deformacija preuzeti vanjska opterećenja, osigurati vodonepropusnost, ne smije korodirati i nakon dugogodišnjeg pogona ne smije izgubiti nosiva svojstva. Najčešće se kao definitivna podgrada primjenjuje zide od betonskih blokova i monolitni beton. Mišljenja se o armiranom betonu razilaze, i to zbog korozivnog djelovanja armature.

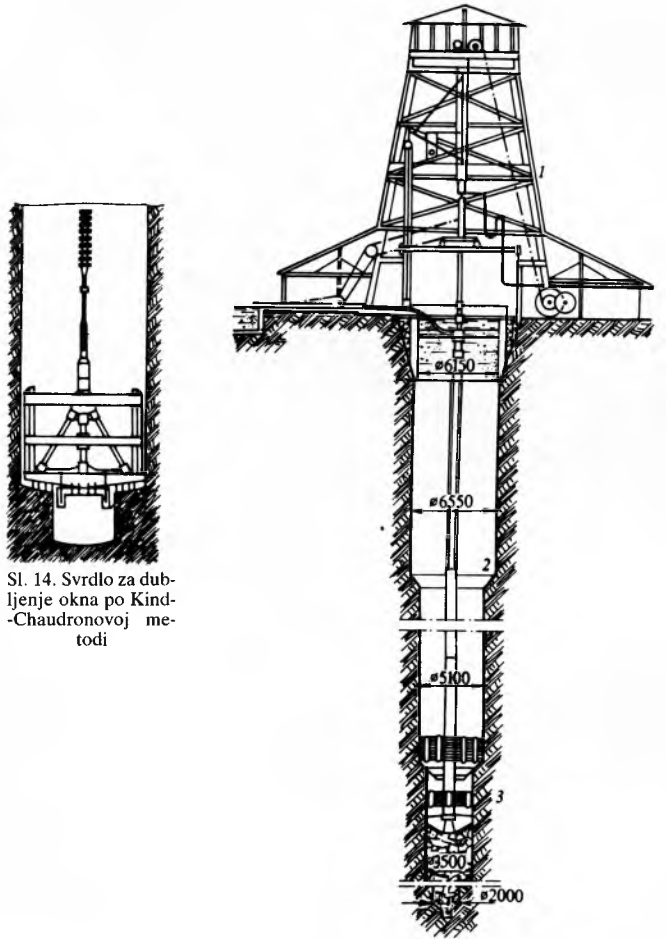
Betoniranje okna iziskuje jaku betonsku oplatu koja za vrijeme vezivanja betona mora od nevezanog betona preuzeti opterećenje skupa s vanjskim opterećenjem. Osim uobičajenih sklopivih oplata, za betoniranje okna dosta se upotrebljavaju i tzv. klizne i puzne oplata. Klizne se oplata u toku kontinuiranog ugrađivanja i vezanja betona stalno pomiču naviše, a uz primjenu puzne oplata betonira se cijela visina oplata. Nakon vezanja betona, cjelokupna se oplata povuče naviše, pa se ponovno betonira. Tijesno su stijenu ugrađenu betonsku oblogu nosit će djelovanje potisnih naprezanja između obloge i stijene, a za vrijeme vezanja obloga će se svojom težinom oslanjati na nogu. Što je brže vezanje betona, to je manja visina i težina cilindra koji se preko noge prenosi na stijenu.

Dubljenje okna u posebnim (teškim) prilikama. U tvrdim i vodonosnim stijenama dubljenje okna normalnim postupkom teško je izvodljivo i skupo, a u sipkim je vodonosnim

stijenama neizvodljivo. Tada se okna dubje prema specijalnim postupcima, prilagođenim svojstvima stijene, ili se prethodno mora spriječiti dotok vode, odnosno konsolidirati nevezane sipke stijene kako bi se mogao primijeniti normalni postupak.

Postupaka ima nekoliko, a izbor se mora izvršiti prema postojećim prilikama. Postupci se u pojedinim fazama mogu i preklapati, pa je sistematizacija nesigurna i, zapravo, proizvoljna. Donekle je opravdana podjela na postupke u veoma vodonosnim stijenama i one u sipkom vodonosnom tlu. U stijenama s jakim pritokom vode dolazi u obzir cementiranje, a nekada i metoda Kind-Chaudron, a u sipkim kesonska metoda, dubljenje po Honigmannu, spuštanje gotove obloge i smrzavanje.

Metoda Kind-Chaudron više se ne primjenjuje, ali je treba spomenuti kao ideju koja je prvi put, sredinom prošlog stoljeća, ostvarena. Prema toj metodi okno se dubi punim profilom u početku. Najprije se tzv. malim svrdlom, širine 1,5...2,5 m, odnosno 1/3...1/2 promjera okna, izbuši kratak predšaht, a zatim se velikim svrdlom (sl. 14), širine definitivnog promjera okna (4...5 m), okno izbuši do kraja. Kako se buši kroz vodu i bez podgrade, može se raditi samo u čvrstim stijenama koje se ne zarušavaju. Buši se udarno i dubine nisu veće od 140 m, pa je dubljenje skupo, ali u specijalnim prilikama pouzdano.



Sl. 14. Svrdlo za dubljenje okna po Kind-Chaudronovoj metodi

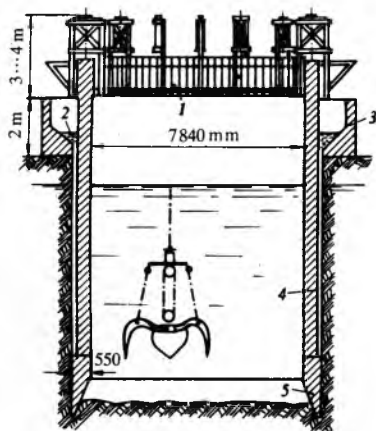
Sl. 15. Dispozicija uređaja pri dubljenju okna po Honigmannovoj metodi. 1 platforma za rotacijsku glavu, 2 dno predšahta na 22 m, 3 stepenasto svrdlo

Honigmannova metoda. Princip bušenja punim profilom preuzet je i u toj metodi, ali s dopunom da se prtok vode iz okolnih stijena zadržava pretlakom u oknu. Taj se pretlak postiže dodavanjem gline ili bentonita u vodu u oknu, pa se tako dobiva koloidna teška tekućina gustoće 1,2...1,4 kg/cm³ koja sprečava zarušavanje stijena u oknu. Postupak je, prema tome, zapravo dubinsko bušenje s isplakom u povećanom mjerilu. Buši se rotacijski, i to u nekoliko stupnjeva do konačnog promjera okna (sl. 15), s tim da se prvi stupanj buši do krajnje planirane dubine okna. Kao promjeri pojedinih stupnjeva uzimaju se približne vrijednosti od početnih 2 m do, uzastopno, 3,5, 5, 6, ... m (za sipke stijene kao

što su pijesak, šljunak, glina), odnosno od 2 m na 2,75, 4,25, 5,50,...m (za kompaktne stijene). Nakon što se cijelo okno izdubi do traženog promjera, ono se podgrađuje oblogom sastavljenom na površini. Ona se sastoji od 30...40 cm visokih čeličnih prstena U-profila koji se spajaju u 2...3 m visok šuplji stup. Obloga se spušta u okno ispunjeno isplakom, uz regulaciju spuštanja punjenjem okna balastnom vodom. Dno je okna pri tom zatvoreno betonskom pločom. Nakon što se obloga spusti do predviđene dubine, voda se ispumpa, a prostor između obloge i okolnih stijena zacementira cementnim mlijekom koje istjeruje isplaku odozdo naviše.

Honigmannova metoda dolazi u obzir za dubine do približno 500 m u sipkim vodonosnim stijenama. Za manje dubine primjenjuje se metoda spuštanja gotove obloge i kesonski postupak.

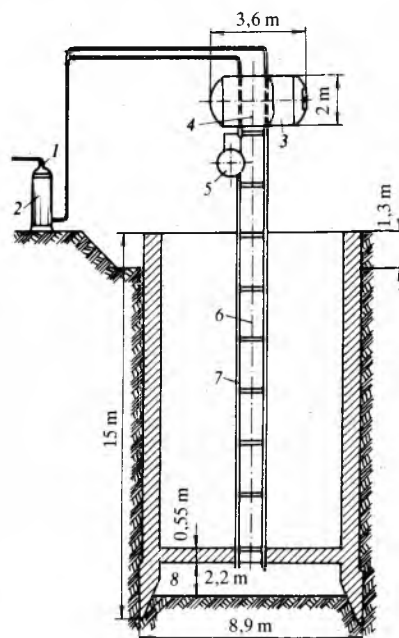
Gotova obloga sastavlja se na površini, a sastoji se od donjeg dijela, tzv. noge, i gornjeg dijela koji je danas od armiranog betona ili čeličnih prstenova, a nekada je to mogao biti i običan zid od opeke ili betonskih blokova. Obloga je debela 35...50 cm, već prema promjeru okna, i pušta se da klizi u okno vlastitom težinom. Da bi se smanjilo trenje, ispunjava se prostor između obloge i stijena, širok oko 10...12 cm, kliznom tekućinom, obično bentonitnom suspenzijom; nakon završetka spuštanja tekućina se uklanja i prostor se zacementira. Iskop šupljine okna obavlja se podvodno, grabilicom ili muljnim pumpama. Noga mora prodirjeti dovoljno duboko u zdravu stijenu na dnu kako bi se pouzdano spriječio svaki dotok vode. To se gotovo redovito postiže u vodoravnim i dovoljno mekim slojevima. Kad su slojevi strmi ili kosi, dno se mora izravnati uz pomoć ronilaca. Na sl. 16 postupak je prikazan shematski.



Sl. 16. Postupak za spuštanje obloge izgrađene na površini. 1 klizna oplata, 2 bentonitna suspenzija za smanjivanje trenja, 3 pređaht od armiranog betona, 4 obloga, 5 noga

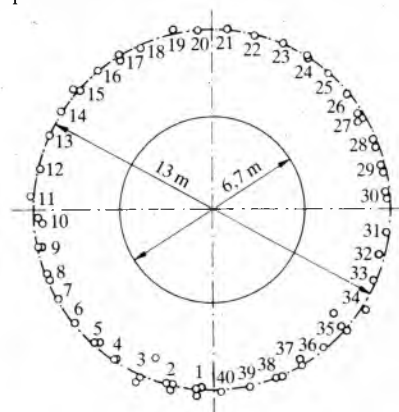
Kesonski postupak. Kako se pri radu u mrtvoj vodi, kao u trima spomenutim postupcima, teško postiže zaista sasvim siguran priključak na zdravu stijenu, u sličnim se okolnostima, tj. kad se dube relativno plitka okna u sipkim vodonosnim stijenama bez prethodnog odvodnjavanja, često primjenjuje kesonski postupak ili metoda dubljenja pomoću komprimiranog zraka (sl. 17). Na dnu okna ispod betonske ploče omogućen je ručni iskop u kesonu u koji se pretlakom komprimiranog zraka sprečava dotok vode. Pretlak iznosi najviše ~0,3 MPa, što proizlazi iz okolnosti da se postupak primjenjuje do maksimalnih dubina od 30...35 m. Prema postojećim propisima za zaštitu zdravlja u takvom slučaju treba dopreмати po čovjeku približno trostruku količinu svježeg zraka. Zrak se dovodi posebnom cijevi, a odvodi komunikacijskom cijevi. Vjedrima se izvozi iskopina i prevozi ljudstvo. I ljudstvo i materijal prolaze kroz kompenzacijsku komoru, da bi se ljudstvo prilagodilo promjeni tlaka pri ulasku, odnosno izlasku iz kesona.

Za velike i najveće dubine primjenjuje se zamrzavanje i cementiranje.



Sl. 17. Kesonski postupak za dubljenje okna. 1 dovod zraka, 2 spremište za zrak, 3 zračna pretkomora, 4 kompenzacijska komora, 5 ispušni za iskopinu, 6 komunikacijska cijev, 7 zračna cijev, 8 keson

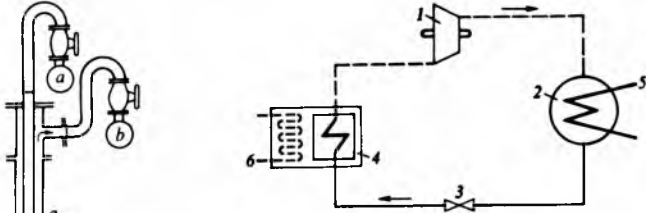
Zamrzavanje (ili zaleđivanje) izumio je njemački rudarski inženjer Friedrich Hermann Poetsch (1842–1902), a prvi put je primijenjeno 1883. Sastoji se u zamrzavanju vodonosnih stijena kroz koje treba izdubiti okno, tako da se stvori ledeni cilindar u kojemu se onda dubi okno i izgrađuje kao u normalnim prilikama.



Sl. 18. Vijenac bušotina za zamrzavanje

Rad počinje tako da se na udaljenosti od 2...3 m od predviđenog promjera okna izrade bušotine na međusobnom razmaku od 0,9...1,3 m (sl. 18). Bušotine moraju biti okomite i približno paralelne, jer se inače neće dobiti homogeno ledeno tijelo. Dopusća se otklon od 50...80 cm, a ako je veći, treba izraditi novu bušotinu. Bušotine se zacjevljuju standardiziranim, dolje zatvorenim rashladnim cijevima, a u njih se uvode, 1,0...1,5 m iznad dna, kriogene cijevi, tj. cijevi za dovođenje rashladne tekućine. Rashladne su cijevi bešavne čelične cijevi s normiranim vanjskim promjerom od 139 mm i debljinom stijenke od 7,5 mm, a kriogene cijevi također su bešavne čelične cijevi s vanjskim promjerom od 51 mm i debljinom stijenke od 5 mm. Kroz kriogene cijevi prolazi odozgo rashladna tekućina i vraća se naviše kroz prstenasti prostor između tih i rashladnih cijevi, oduzimajući pritom okolnim stijenama toplinu (sl. 19). Kao tekućina za zamrzavanje upotrebljavaju se solne otopine. Redovno je to zasićena otopina $MgCl_2$, a za duboko zamrzavanje, kakvo je potrebno kad podzemna voda sadrži veći udio $NaCl$ i $MgCl_2$,

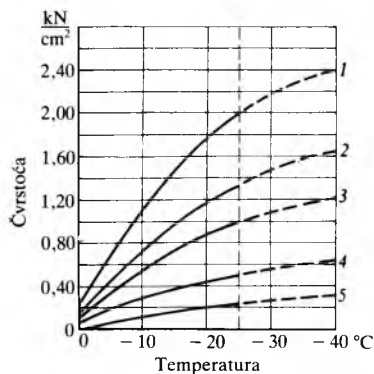
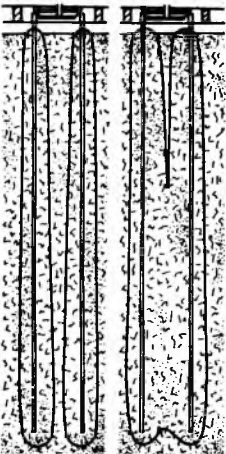
uzima se zasićena otopina CaCl_2 . Rashladni medij cirkulira prema sl. 20. Pri ulazu u rashladne cijevi tekućina ima temperaturu oko -24°C , a na izlasku oko -22°C . Radna temperatura na dnu okna iznosi pri normalnom zamrzavanju između -7 i -10°C , a u dubokom se oknu može spustiti i ispod -20°C , no tada je potrebna zaštita od hladnoće.



Sl. 20. Shema hlađenja. 1 kompresor, 2 kondenzator, 3 redukcijski ventil, 4 uparivač (refrigerator), 5 rashladna voda, 6 kriogena tekućina

Sl. 19. Cirkulacija kriogene tekućine.
a kriogena cijev, b rashladna cijev

U toku oduzimanja topline stijenskom masivu počinju se oko rashladnih cijevi oblikovati ledeni cilindri koji se postepeno spajaju, tako da konačno nastane homogeno ledeno tijelo okruglog presjeka (sl. 21). Oblikovanje ne teče ravnomjerno, što zavisi od vrste stijene, njene toplinske vodljivosti i specifičnog toplinskog kapaciteta. Osobito je zamrzavanje usporeno u vodonosnim i glinastim slojevima. Općenito se može uzeti da brzina zamrzavanja na 1,5 m od vijenca bušotina iznosi oko 1 m/mjesec, a na 1,5...3,0 m od vijenca oko 0,6 m/mjesec. I čvrstoća i homogenost ledenog tijela proporcionalni su tlačnoj čvrstoći stijenskog masiva koja raste s opadanjem temperature. Tako vodom zasićeni smrznuti kremenji pijesak na -10°C ima čvrstoću od $1,1 \text{ kN/cm}^2$, a na -20°C , $1,8 \text{ kN/cm}^2$. Ostale vrste stijena imaju manju čvrstoću. Vrijednosti za smrznutu vodonosnu glinu upola su manje, a čvrstoća smrznutog mrkog ugljena još je manja. Na sl. 22 navedene su vrijednosti za čvrstoću nekih stijena prema temperaturi.



Sl. 22. Zavisnost čvrstoće zamrznute stijene od temperature. 1 kremenji pijesak, 2 pjeskovita glina, 3 čista glina, 4 mulj, 5 čisti led

Pošto nastane ledeno tijelo, iz masiva treba odvajati mnogo manje topline jer treba samo održavati postignutu nisku temperaturu. Zato se računski potrebni kapacitet rashladnog uređaja obično podijeli na dva agregata. Za vrijeme zamrzavanja rade oba, a kasnije, za vrijeme dubljenja i održavanja niske temperature, samo jedan.

Rad na dubljenju u biti se ne razlikuje od rada u čvrstoj i suhoj stijeni. Kopa se po dubinskim odsjecima od 25 m, koji se po potrebi privremeno podgrađuju. Mišljenja o utjecaju

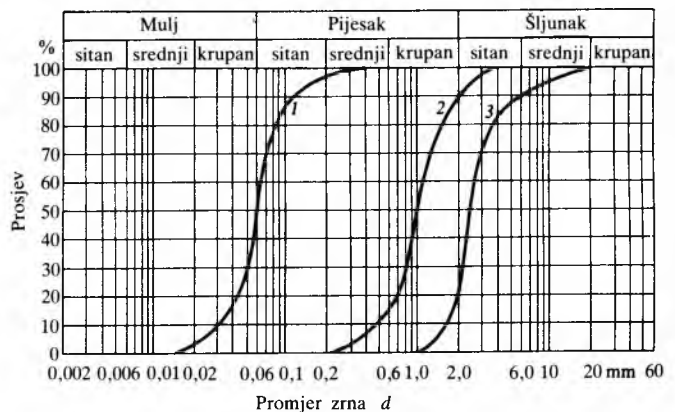
miniranja nisu jedinstvena, ali se ipak nastoji da se miniranje što više ograniči ili sasvim izostavi. Ako se ipak minira, upotrebljavaju se eksplozivni otporni prema hladnoći. Kao definitivna podgrada primjenjuju se raznovrsni elementi: prstenovi od lijevanog željeza s betonskim zapunjavanjem prostora između prstena i stijene, kružni segmenti od betona ili čelika, često dvostruki, a ponekad, za plića okna do 200 m otprilike, i zide od obične ili betonske opeke.

Vrijeme zamrzavanja zavisi dakako i od dubine i promjera okna. Prema nekim zapadnoevropskim podacima, za dublje okna metodom smrzavanja može se računati s mjesečnim napredovanjem od 12...15 m, a za naknadnu gradnju s podgrađivanjem 30 m mjesečno. Tako je npr. za izradu okna promjera 5,5 m i dubine od 360 m utrošeno za pripremne radove s bušenjem 12 mjeseci, za zamrzavanje 4 mjeseca i za gradnju 12 mjeseci.

Odmrzavanje se ostvaruje prekidanjem rada rashladnog uređaja. Ono napreduje od okna u smjeru stijenskog masiva kao posljedica toplinskog djelovanja zračnog strujanja u oknu te od stijenskog masiva prema oknu kao posljedica topline u stijenama. Odmrzavanje se može ubrzati zagrijavanjem zraka ili cirkulacijom tekućine zagrijane na $3\text{--}8^\circ\text{C}$. Odmrzavanje od okna prema masivu ima određenih prednosti, jer se tako osigurava zagrijavanje i vezivanje betonske obloge prije nego što se zid smrznute stijene bitno smanji.

Nakon završetka radova, kriogene se cijevi obično izvuku, dok se rashladne ostavljaju u bušotinama i zacementiraju. Izvlačenje može uzrokovati preraspodjelu naprezanja u gorskom masivu, a to ugrožava podgradu. Osobito je opasno izvlačenje u naizmjeničnim slojevima pijeska i gline, jer se prazne bušotine ne mogu dovoljno brzo cementirati. Prsten između cijevi i masiva također se zapunjava cementom.

Cementiranje kao metoda izrade okna dolazi u obzir u vodonosnim stijenama, u prvom redu u raspucalim, a tek u drugom redu u poroznim (sl. 23). Slično kao i pri zamrzavanju, oko okna se s površine izradi prsten bušotina, ali mnogo manje, ne više od 10, koje ostaju nezacijevljene, osim što se u gornjem dijelu, do dubine od 6...10 m ucementira uvodna kolona. Bušotine su promjera 50 mm i ne mogu biti veoma duboke jer brzina strujanja cementne kaše suviše brzo opada s dubinom, tako da će stijene očvrstnuti samo u neposrednom okolišu bušotine. Povećanjem promjera bušotine na 150...200 mm i primjenom jačih pumpi mogu se postići i veće dubine.

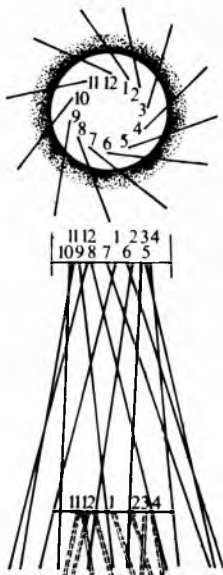


Sl. 23. Zavisnost područja injektiranja od njegova granulometrijskog sastava. 1 injektiranje kemijskim sredstvima, 2 cementiranje koloidnim cementom, 3 cementiranje cementnim mlijekom

Ako se vodonosne stijene nalaze tek na nekoj dubini ispod čvrstog površinskog gorja, svrsishodnije je i jeftinije bušenje i cementiranje s dna okna. Ako dno nije dovoljno čvrsto, najprije treba izraditi betonski čep, debeo do 3 m, s rupama za uvodne kolone s ventilima. Zatim se izbuši vijenac bušotina, i to tangencijalno pod kutom od $10\text{--}15^\circ$, kako bi se sigurno nabušile vodonosne šupljine (sl. 24). Dubina bušotina obično nije velika, ne više od 20 m, a rijetko do

40 m, jer se inače donji krajevi mogu suviše udaljiti od okna. Obično se radi u visinskim sekcijama od ~20 m.

Postupak se primjenjuje i za brtvljenje već postojećih okana kad se pojavi voda u oblozi (injektiranje), a daje i dobre rezultate pri dubljenju okana u kraškom terenu.



Sl. 24. Raspored bušotina pri cementiranju okna u sekcijama

Pravo su područje cementiranja stijene s minimalnom širinom pukotina od 0,1 mm. Tada je moguće cementiranje cementnim mlijekom, dok se za stijene sa sitnim pukotinama ili porama mora injektirati koloidnim cementom, bentonitom, glinastim suspenzijama ili kemijskim injekcijskim sredstvima. Tekući pijesak ne može se cementirati jer se cement u njemu zadržava kao u filtru. Općenito vrijedi pravilo da cementna isplaka mora biti to rjeđa što su pukotine finije. Vodocementni faktor najčešće ima vrijednost između 0,7 i 5, ali je cementiranje moguće i cementnim mlijekom s faktorom do 0,45, a ima i poznatih primjera rada s vodocementnim faktorom 20. S porastom vodocementnog faktora raste i vrijeme vezanja cementa. Prebrzo vezanje nije poželjno zato što jedno cementiranje traje nekoliko sati pa i više dana. Kad se bušotina zacementira, dovodna se cijev odmah priključuje na drugu bušotinu, inače se mora isprazniti i oprati čistom vodom.

U tabl. 1 nalaze se osnovni podaci o primjenljivosti pojedinih postupaka.

Tablica 1
PRIMJENLJIVOST METODA ZA DUBLJENJE OKNA

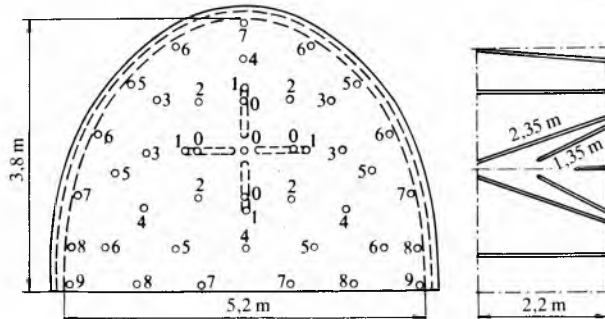
Metoda dubljenja	Postiziva dubina	Svojstva stijenskog masiva	Dopušteni prtok vode
Uzastopna i paralelna	Sve dubine	Čvrste stijene	Do 1 m ³ /min
Honigmannova	Do 500 m	Sipke i srednjtvrde stijene	Neograničen
Spuštanje gotove obloge	Do 30 m	Sipke stijene	Neograničen
Kesonska	Do 35 m	Sipke stijene	Neograničen
Zamrzavanje	Sve dubine	Sve stijene, osobito sipke	Neograničen
Cementiranje	Sve dubine	Čvrste i raspucale stijene	Neograničen

Horizontalni i kosi objekti otvaranja

Horizontalni i kosi, blagonagnuti objekti u čvrstim stijenama izrađuju se većinom bušenjem i miniranjem. Zbog visokog stupnja abrazivnosti i veoma visokih cijena opreme, u takvim se stijenama samo veoma malen dio objekata gradi kopanjem pomoću strojeva-kopačica ili kombajna za kopanje

i utovar. Suprotno tome, u mekšim stijenama takvi se uređaji za gradnju horizontalnih i blagonagnutih objekata veoma mnogo upotrebljavaju.

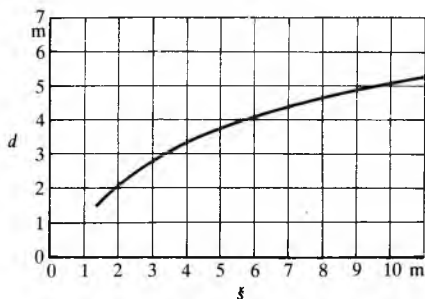
Izrada horizontalnih objekata otvaranja u čvrstoj stijeni. Tehnološki proces izrade hodnika (*tjeranje hodnika*) bušenjem i miniranjem sastoji se od veoma kompleksnog radnog ciklusa; to su operacije bušenja minskih bušotina, miniranja, vjetrenja, utovara i otpreme odminirane iskopine, podgradivanja, dopreme materijala, produžavanja kolosijeka ili energetskih vodova za transportna sredstva, cijevi, energetskih i signalnih naprava, odvodnjavanja i zaštita od prodora vode ili plinova. Te se operacije izvode u određenom redu, međusobno se preklapaju i sasvim različito utječu na tok tehnološkog procesa. Neizbježna operacija, koja se mora uvijek izvoditi, jest otkopavanje i otprema iskopine. Ostale operacije sudjeluju u tehnološkom procesu u veoma promjenljivom opsegu, već prema prirodnim uvjetima u gorskom masivu, značenju objekta i raspoloživim sredstvima. Kako su mnoge operacije već opisane u drugim člancima (v. članke *Rudarstvo*; v. *Miniranje*, TE 8, str. 574), ovdje je prikazano samo ono što se direktno odnosi na otvaranje objekata. Treba, međutim, reći da tehnološki proces pojedine operacije valja procjenjivati s gledišta ekonomičnosti objekta u cjelini, a ne samo ekonomičnosti operacije. To osobito vrijedi za miniranje. Što je potreban veći profil hodnika, to više treba nastojati da se prilagođenom tehnikom miniranja sačuva cjelovitost gorskog masiva u okolini radova.



Sl. 25. Miniranje u hodniku velikog profila dvostepenim klinastim zalomom. 0 i 1 zalomne bušotine, dvostepeni zalom, 2...5 pomoćne bušotine, 6...9 periferne bušotine

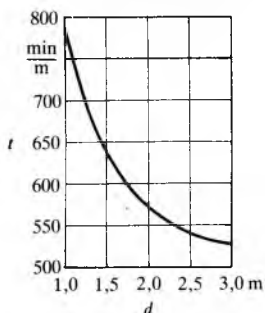
Miniranje pri tjeranju hodnika izvodi se u tri stupnja: zalomnim, pomoćnim i perifernim otpucavanjem (sl. 25). Svrha je zalomnih mina smanjivanje ukliještenosti stijena, čime se povećava djelotvornost pomoćnih i perifernih mina. Na ukliještenost naboja veoma utječe dubina izbijanja. S dubinom minske bušotine raste i utrošak eksploziva i opseg oštećenja stijene oko bušotine. Dubina najviše zavisi od površine profila hodnika (sl. 26). Istina da s porastom dubine minske bušotine raste i brzina napredovanja gradnje i skraćuje se vrijeme otkopavanja (sl. 27), ali je zbog posljedica što ih uzrokuje jaka ukliještenost naboja bolje odabrati manju dubinu.

Bitno smanjivanje štetnih posljedica miniranja na okolinu može se postići i konturnim miniranjem (sl. 28). O pojednostima v. *Miniranje*, TE 8, str. 577.

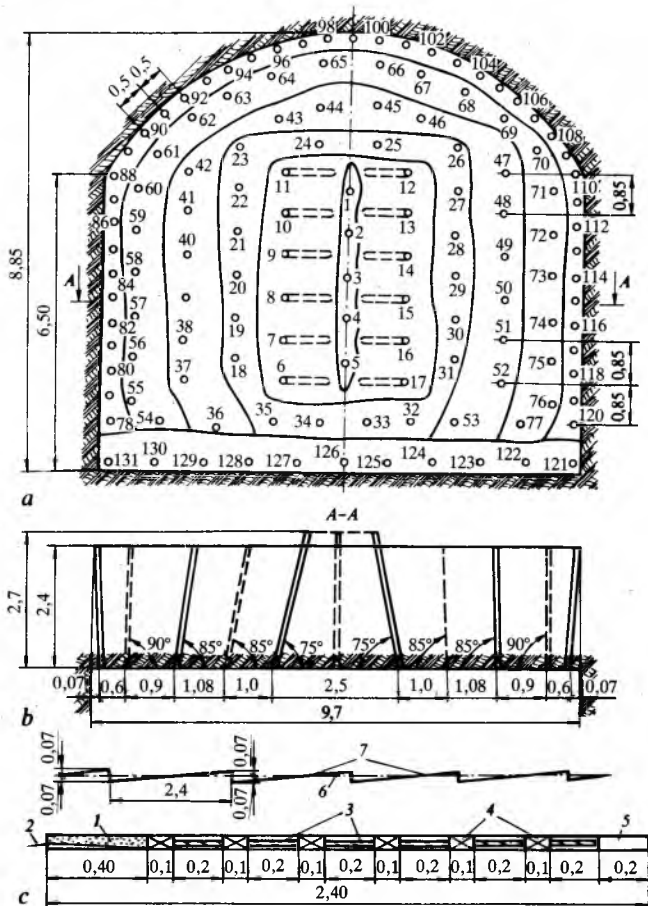


Sl. 26. Zavisnost dubine izbijanja od veličine otkopnog profila za kosi zalom. d moguća dubina izbijanja, s širina hodnika

Utovar minirane iskopine obavlja se ručno samo još izuzetno, u hodnicima s vrlo malim profilom. Inače se iskopina tovari mehaničkim lopatama i drugim sličnim uređajima. Otprema je također uglavnom mehanizirana, samo što se zbog jake abrazivnosti iskopine često izbjegava otprema kontinuiranim sredstvima.



Sl. 27. Utjecaj dubine jednokratnog izbijanja na utrošak rada za miniranje. t utrošak vremena za bušenje i miniranje, d dubina izbijanja



Sl. 28. Konturno miniranje velikog objekta otvaranja. *a* raspored bušotina, *b* shema bušenja konturnih bušotina, *c* konstrukcija punjenja konturne bušotine; 1 čep, 2 žice upaljača, 3 drveni čepovi, 4, 5 eksploziv, 6 projektirana kontura, 7 konturne bušotine (dimenzije u metrima)

Radi zaštite od zarušavanja objekti se osiguravaju lakom podgradom od čeličnih profila ili tankom oblogom od betona ili opeke. U objektima koji treba da imaju duži radni vijek, podgrada mora biti takva da se njena funkcija ne smanjuje za cijelo vrijeme eksploatacije.

Pritok vode može ugroziti radove, ponekad toliko da se mora izmijeniti trasa objekta. Osobito negativno djeluje pritok vode pri transportu beskolosiječnim vozilima. Pritok se može smanjiti vodonepropusnom podgradom, prethodnom ili neposrednom drenažom i kontroliranim odvođenjem vode, ili injektiranjem vodonosnih pukotina. Vodonepropusna podgrada može biti u obliku bitumenskog izolacijskog sloja na ljepenci, juti ili čeličnoj mreži, zatim armirane ili nearmirane

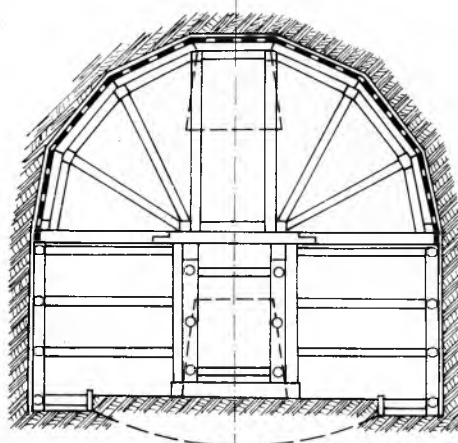
polimerne folije, a može se ostvariti nanošenjem izolacijske mase lopaticom ili prskalicom.

Mehaničkim otkopavanjem mogao bi se radni ciklus pojednostavniti i strogo prilagoditi projektiranim konturama bez oštećenja stijenskog masiva. Na tržištu postoji velika ponuda odgovarajućih strojeva. Međutim, pri gradnji rudarskih objekata otvaranja oni se gotovo ne upotrebljavaju. Razlozi su prije svega veliki investicijski troškovi, zatim velik opseg radova za pripremu i likvidaciju gradilišta i velik stupanj rizika za prebrzo trošenje reznog alata zbog abrazivnosti stijena.

Izrada horizontalnih objekata otvaranja u mekšim stijenama. Za izradu objekata u mekšim stijenama veoma se često primjenjuju otkopni strojevi. Njihovim uvođenjem u tehnološki proces radni se ciklus znatno pojednostavnjuje, učinci se mnogostruko povećavaju i iskorištavaju se prednosti mehaničkog iskopa u pogledu točnosti izvedbe bez štetnih posljedica za okolinu.

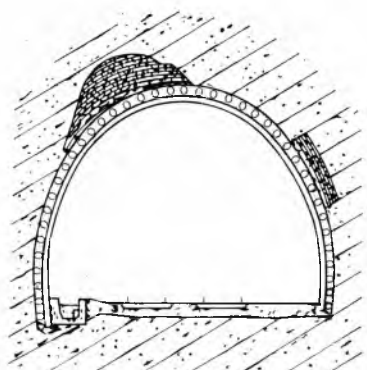
Tada se radni ciklus sastoji od operacija kontinuiranog otkopavanja, utovara, otpreme, dopreme materijala i podgrađivanja. Ciklus se prekida samo za izvođenje potrebnih pomoćnih operacija kao što su produžavanje kolosijeka, transportera, cijevi, energetskih i signalizacijskih naprava te radova oko odvodnjavanja.

Kombajni za otkopavanje i utovar rade ili s velikim ili s malim rotorom. Kombajni s jednim ili dva velika rotora isijecaju stijenu po cijelom profilu odjednom (najviše se upotrebljava u SAD), a kombajni s malim rotorom djeluju na manjem dijelu profila i postepeno ga isijecaju (najviše se upotrebljava u evropskim rudnicima).

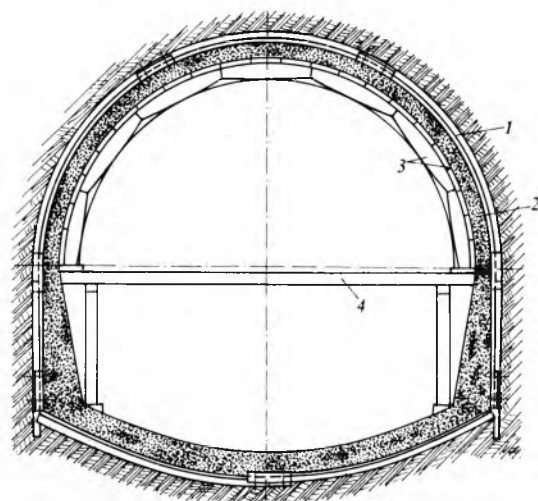


Sl. 29. Privremena podgrada drvenom konstrukcijom i drvenom oplatom

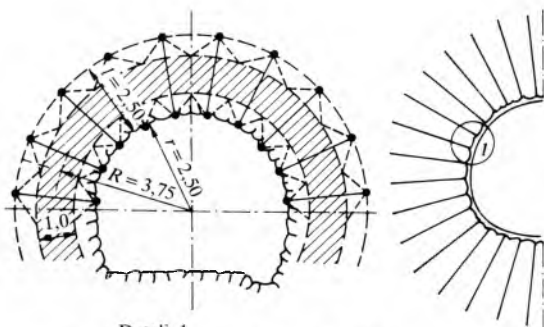
Glavna je faza tehnološkog procesa gradnje u mekšim stijenama podgrađivanje i osiguranje dovoljnih količina materijala za podgradu. Podgrađuje se većinom u dvije faze. Privremena podgrada radi se odmah ili ubrzo nakon otkopavanja, da bi se zaštitio otkopani prostor od zarušavanja stropa ili bokova, da bi se taj prostor stabilizirao, da bi se spriječila prekomjerne deformacije masiva u okolini i očuvala sposobnost masiva za preuzimanje naprezanja koja se pojavljuju pri otkopavanju. Privremena je podgrada od drvenih ili čeličnih profila. Između nosive konstrukcije i stijene ugrađuje se oplata od čeličnih ili betonskih ploča ili čelične mreže (sl. 29 i 30). Veoma djelotvorna je podgrada sidrenjem (sl. 31), odnosno različite kombinacije sa sidrenjem, kao što su kombinacija sidrenja s mrežama, s mrežama i štrcanim betonom ili s mrežama, lukovima i štrcanim betonom. Sve kombinacije sa sidrenjem ulaze u definitivnu podgradu objekta. I privremena podgrada čeličnim profilima može se ubetonirati i tako postaje dio definitivne podgrade. Privremena podgrada od drva mora se u toku definitivnog podgrađivanja ukloniti, a prostor između definitivne podgrade i stijene potpuno zapuniti.



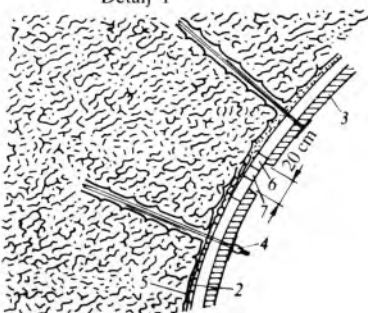
Sl. 30. Privremena podgrada s nosivom konstrukcijom od čeličnih profila i s oplatom od drvenih oblica



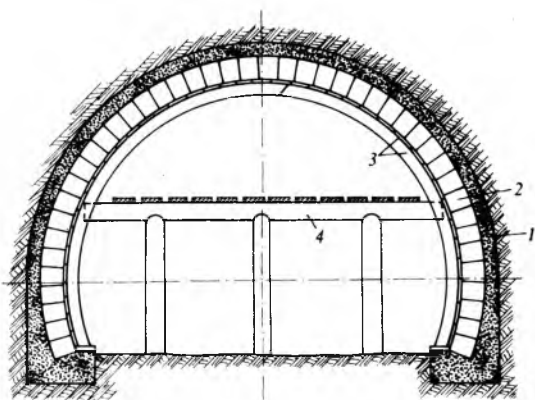
Sl. 33. Definitivna podgrada od monolitnog betona. 1 privremena podgrada od čeličnih profila i štrcanog betona, 2 definitivna podgrada od monolitnog betona, 3 nosiva konstrukcija i oplata za betoniranje, 4 radna platforma



Detalj 1



Sl. 31. Privremena podgrada kombinacijom sidrenja s mrežom, lukovima i štrcanim betonom. 1 detalj, 2 štrcni beton, 3 lijevani beton, 4 sidra Ø24 mm, 5 mreža od armiranog betona, 6 veza među lukovima, 7 umetak za mogućnost popuštanja (dimenzije u metrima)



Sl. 32. Definitivna podgrada od betonskih blokova. 1 beton za zapunjavanje, 2 zid od betonskih kocaka, 3 oplata i nosiva konstrukcija za gradnju zida, 4 radna platforma

Definitivna podgrada mora osigurati stabilnost objekta i glatku površinu njegovih zidova te spriječiti njegovu deformaciju i nekontroliran prиток vode. Ona se radi od betonskih blokova (sl. 32) ili monolitnog betona (sl. 33). Veće mogućnosti za mehanizaciju radova, a zbog toga i za veću produktivnost, razlog su da se betoniranje sve više upotreb-

ljava umjesto betonskih blokova, iako beton sporije preuzima opterećenja. Armirani beton rijetko se upotrebljava.

Zbog tangencijalnih naprezanja koja se pojavljuju zbog preraspodjele pritiska pri otkopavanju, stijenski će se masiv plastično deformirati, razlabaviti i povećati svoj volumen. Već se iskopani profil hodnika smanjuje, a to smanjivanje, jednako kao u oknu, zavisi od mehaničkih svojstava stijene i od reakcijskog otpora ugrađene podgrade. Za razliku od prilika u oknu, raspored je opterećenja ugrađene podgrade po obodu hodnika neravnomjeran i ima oblik elipse, a ne kruga kao u okna. Zato su proračun naprezanja i deformacija te određivanje granica plastičnih deformacija povezani s većim teškoćama nego za okno.

U mekim stijenama, kao što su gline, glinasti škriljavci i meki pješčenjaci, podgrađivanje ima u tehnološkom procesu izrade objekata otvaranja gotovo presudno značenje, te nekada od njegove izvodljivosti zavisi odluka o tehničkim i ekonomskim mogućnostima eksploatacije.

Još mnogo veće promjene naprezanja u masivu nego pri izradi hodnika javljaju se na otkopima. Svako otkopavanje praćeno je manjim ili većim valom otkopnog pritiska. O tome v. *Rudarstvo, Mehanika stijena*, ali ovdje treba naglasiti kako je u području tih dinamičkih otkopnih pritiska i najsolidnijom podgradom nemoguće osigurati stabilnost iskopanih profila. Sigurnost se može postići samo takvim otkopavanjem kojim će se izbjegavati područja gdje se takvi pritisci pojavljuju. Za prethodnim istraživanjima treba utvrditi vrijednost tih pritiska i granice područja u kojima se javljaju, pa sistem otvaranja projektirati tako da se izbjegnu ta područja.

LIT.: Горное дело, Энциклопедический справочник. Углетехиздат, Москва 1958. – С. Н. Фриzsche, Lehrbuch der Bergbaukunde. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962. – F. Mohr, Schachtbautechnik. Hermann Hübener, Goslar 1964. – Г. П. Ананьин, Н. Арсланов, И. П. Рошупкин, Л. И. Завьянов, Технология подземных горных работ. Недра, Москва 1970. – В. Глуšević, Отваранье и метода подземног оtkopavanja рудних лежишта. Minerva, Subotica-Beograd 1974. – Б. Н. Кутузов, Љ. К. Валухин, С. А. Давидов, Б. И. Каменка, А. В. Коренистов, В. К. Рубцов, Р. Я. Страусман, Проектирование взрывных работ. Недра, Москва 1974. – Н. W. Wild, Sprengtechnik in Bergbau, Tunnel- und Stollenbau. Verlag Glückauf, Essen 1977. – L. Müller-Salzburg, Der Felsbau, 3. Bd. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1978. – J. Hrstnik, Rudarska dela in jamsko pridobivanje. VTOZD Montanistika, Ljubljana 1979.

J. Hrstnik

RUDARSTVO, STROJEVI I TRANSPORT, otkopni strojevi i transportni uređaji koji se upotrebljavaju za otkopavanje rude i ugljena u ležištu, za transport