

uspjeha. Točnijim se ispitivanjem uvidjelo da je tome razlog što je u prijašnjim kemijskim analizama bilo zanemareno da je, uz ostalo, bitni sastojak amfibola mala količina vode ili fluora. Kad se to uzelo u obzir, pa kad se sinteza provodila u kemijskim bombama u prisutnosti para vode ili fluorovodične kiseline, tad je sinteza pošla za rukom.

Danas se u laboratorijima uspješno provodi sinteza najraznolikijih minerala, tj. *sintetskih minerala*. Proučavanjem prilika pri sintezi (temperature, tlaka i uzetih kemijskih sastojaka) mogu se nerijetko praviti važni zaključci o postanku minerala u prirodi. Uzmu li se za pokuse u bombama sedimentne stijene, tad će se njihov mineralni sastav uz nove uvjete temperature i tlaka izmijeniti: nastat će nove mineralne zajednice. Odatle se prave važni zaključci o postanku metamorfnih stijena u prirodi. Takvi su pokusi dugotrajni: protegnu se na više mjeseci, pa i na godinu dana.

Osobito je važno da se u laboratoriju prave različiti umjetni kristali kojih se u prirodi već ne nalazi u dovoljnoj količini za podmirenje tehničkih potreba. Tipičan primjer za to su sasma čisti, potpuno bezbojni i prozirni kristali kremenja, tzv. piezokremenja, koji se u velikim količinama upotrebljava u elektroničkim i telekomunikacijskim uređajima za kontrolu oscilatora. Mikroskopski sitne kristale načinio je prije više od jednog stoljeća C. Schafhäutl (1845), a relativno velike kristale G. Spezia (1900). Metoda, koja se za to i danas primjenjuje, zasniva se zapravo na činjenici da je kremen lakše topljiv u otopini natrijskog metasilikata uz temperature iznad 600 K nego ispod njih. Računa se da se danas polovica potrebnog piezokremenja proizvodi umjetno.

Kadšto kristalni proizvodi dobiveni umjetno nemaju analoga među prirodnim mineralima; to se odnosi, npr., na pojedine sastojke u troskama, pa na litij-fluorid. Bezbojni, savršeno prozirni, umjetno priređeni kristali litij-fluorida upotrebljavaju se mjesto fluorita za izradivanje leća potrebnih pri konstrukciji mikroskopskih objektivna najviše kvalitete itd.

Kristalizacija se obavlja u posebnim uređajima, tzv. kristalizatorima. Za kristalizaciju su potrebne male kristalne klice od iste ili druge tvari od kojih kristali rastu. Za orijentirani rast kristala na nekoj podlozi ili za epitaksiju od primarne je važnosti da u strukturnoj građi podloge (domaćina) i kristala koji raste povrh nje (gost) vlada u međusobnim atomskim ili ionskim odnosno molekularnim razmacima dalekosežna analogija. Domaćin kao da u tom slučaju prisiljava gosta na orijentirano pravilno prerastanje. Kakav je način na koji su elementarni sastojci međusobno povezani, to je pri tom manje važno: poznati su, npr., slučajevi epitaksije molekularnih kristalnih rešetaka povrh kristala kovina. Pravilno srastanje dvaju minerala, distena $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$ i staurolita $\text{AlFe}_2\text{O}_3(\text{OH}) \cdot 4\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$ prvi je slučaj epitaksije uočen u prirodi (E. F. Gemmar 1817). U doirnoj plohi iznose elementarni razmaci kod distena 0,774 i 0,557, a kod staurolita 0,782 i 0,563 nm. Od nedavno praktično iskorištenih slučajeva orijentiranog srastanja treba spomenuti izlučivanje kristalica leda povrh klica srebro-jodida, umjetno ubačenih u atmosferu. Ono se obavlja neobično lako, pa se na tom zasniva ostvarivanje umjetnih oborina.

Velike kristalne jedinice mogu se često prirediti izlučivanjem tvari iz prezasićenih otopina povrh malih kristalica iste tvari koji vise u otopini, nadalje polaganim izlučivanjem, pobuđenim bilo isparivanjem otopine, bilo njihovim ohlađivanjem. I sublimacijom se mogu dobiti takvi kristali.

Veliki, potpuno prozirni kristali korunda, Al_2O_3 , rade se prema metodi A. Verneuil, pronađenoj potkraj prošlog stoljeća, taljenjem i rekristaliziranjem glinice uz visoke temperature u plamenu vodika i kisika. Doda li se glinici u malim količinama kroma, kobalta ili titana (u obliku njihovih soli), dobit će se krasno obojeni rubini i safiri; ako su dobro urađeni, često se teško razlikuju od takva prirodnoga, vrlo skupocjenoga dragog kamenja. Veliki monokristali sintetskog rubina iskorišćuju se za priređivanje rubinskog lasera. Najsitniji korundni prah za abrazivne svrhe također se pravi umjetno u velikim količinama. Nedavno su u Novosibirsku pod vodstvom A. A. Godovikova priređeni krasni smaragdi i aleksandriti, koje je nemoguće razlikovati od istovrsnoga prirodnoga dragog kamenja.

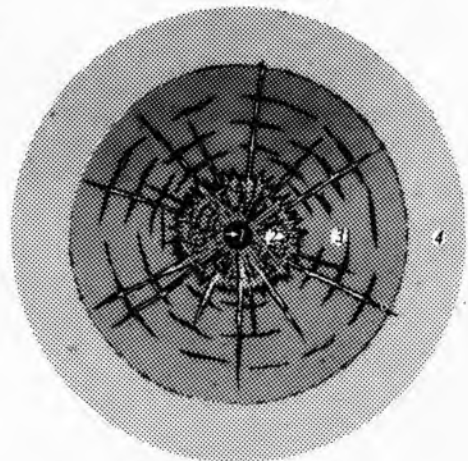
Velike industrijske zemlje podmiruju danas priličan dio svojih potreba za sitnim dijamantima na taj način da ih rade umjetno u posebnoj aparaturi uz visoke tlakove i temperature (više od 3 GPa i ~1700 K). Cijena im je približno ista kao i za prirodne materijale.

LIT.: P. Eskola, *Kristalle und Gesteine*. Springer Verlag, Wien 1946. — F. Tučan, *Opća mineralogija*. Školska knjiga, Zagreb 1951. — A. N. and H. Winchell, *Elements of optical mineralogy, Part II: Descriptions of minerals*. Wiley and Sons, Chapman and Hall, New York-London 1951. — A. N. Winchell, *Elements of optical mineralogy, Part I: Principles and methods*. Wiley and Sons, Chapman and Hall, New York-London 1954. — F. Tučan, *Specijalna mineralogija*. Školska knjiga, Zagreb 1957. — W. H. Dement, *Principles of mineralogy* (revised printing). Ronald Press Comp., New York 1960. — E. K. Лазаренко, *Курс минералогии*. Львівський університет, Львів: част. I, 1958; част. II, 1959; част. III, 1961. — C. W. Correns, *Einführung in die Mineralogie*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 1968. — A. A. Годовиков, *Минералогия*. Недра, Москва 1975. — P. Ramdohr, *H. Strunz, Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie*. Verlag Enke, Stuttgart 1978.

Lj. Barić

MINIRANJE, postupak za razaranje i drobljenje stijena, tala i građevina energijom oslobođenom detonacijom eksplozivnog naboja. Primjenjuje se u *rudarstvu* za dobivanje mineralnih sirovina, tehničkog i ukrasnog kamena i za izbjivanje profila pri gradnji podzemnih prostorija i tunela; u *građevinarstvu* za iskop kanala, usjeka i zasjeka, pri gradnji prometnica, te za iskop temelja za građevine; u *poljoprivredi* za gradnju kanala i ustava za navodnjavanje i odvodnjavanje, za rastresanje nepropusnog tla i sl.; u *umarstvu* za vađenje panjeva i iskop jama za sadnice. Osim toga, miniranje se primjenjuje i u vojne svrhe za rušenje građevina, prometnica i slično.

Proces rušenja miniranjem. Prilikom detonacije, eksplozivni naboj naglo, skoro trenutno prelazi iz čvrstog u plinovito agregatno stanje. Tom egzotermnom kemijskom reakcijom oslobada se velika količina energije uz nastanak velike količine plinova. Zbog velike brzine reakcije i visoke temperature (2000–4000 °C) u ograničenom prostoru naglo se povisuje tlak plinova nastalih eksplozijom. Pojavljuje se tlačni udarni val koji se širi radijalno na sve strane brzinom od 1500–5000 m/s, već prema vrsti stijene. U stijeni nastaju tlačna i vlačna naprezanja uz elastične i trajne deformacije (sl. 1). Neposredno uz zonu eksplozije



Sl. 1. Djelovanje eksplozije u stijeni. 1 eksplozivni naboj — zona eksplozije. 2 zona drobljenja i usitnjavanja. 3 zona radijalnih pukotina. 4 zona oscilacija stijene

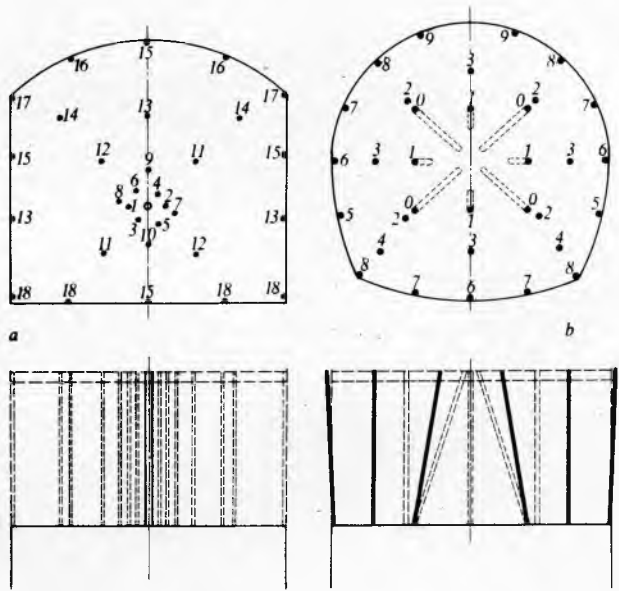
stijena se drobi i sitni djelovanjem tlačnog naprezanja, a nešto dalje od te zone zbog vlačnog naprezanja nastaje sustav radijalnih pukotina. Pukotine se proširuju djelovanjem visokog tlaka plinova eksplozije i, ako dopru do slobodne površine, stijena se lomi. Izvan zone radijalnih pukotina tlačna i vlačna naprezanja manja su od tlačne i vlačne čvrstoće stijena te se u stijenama pojavljuju elastične deformacije kao oscilacija stijenjskog masiva.

METODE MINIRANJA

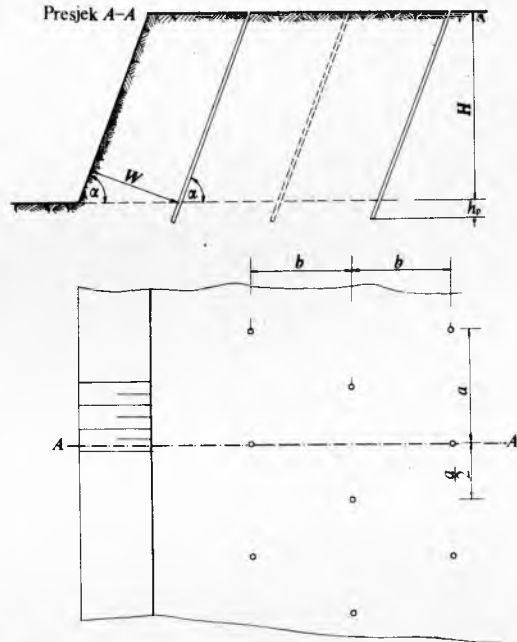
Prema obliku i veličini minskog prostora (zone eksplozije) i prema namjeni razlikuju se sljedeće metode miniranja: miniranje plitkim minskim bušotinama, miniranje dubokim minskim bušotinama, komorno miniranje, kotlovsko miniranje te specijalna miniranja.

Miniranje plitkim minskim bušotinama izvodi se bušotinama duljine do 6 m i promjera manjeg od 60 mm. Metoda se mnogo primjenjuje pri izradbi podzemnih prostorija i tunela, te pri podzemnom dobivanju mineralnih sirovina, a na površinskim kopovima i kamenolomima primjenjuje se za otkopavanje niskih etaža, za rastresanje stijena, te za sekundarno usitnjavanje prevelikih komada minirane mase. I pri gradnji plitkih usjeka, kanala i temelja građevina primjenjuje se miniranje plitkim bušotinama.

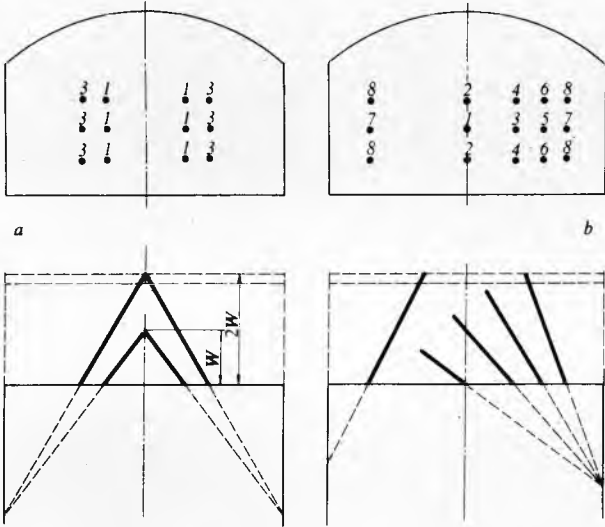
Izradba podzemnih prostorija i tunela najvažnija je primjena miniranja plitkim minskim bušotinama. Stijena je čvrsto ukliještena, jer je radno čelo jedina slobodna površina. Ukliještenost stijene može se smanjiti stvaranjem nove slobodne površine unutar stijenskog masiva koji se minira. To se postiže izradbom zaloma po cijeloj duljini predviđenog odloma stijene. Zalom je šupljina u stijeni, a izrađuje se sustavom zalomnih minskih bušotina koje se otpucavaju prije ostalih mina u istom ciklusu miniranja. Zalomi se mogu svrstati u dvije osnovne grupe, kose i paralelne zalome. U kosim su zalomima zalomne minske bušotine nagnute prema uzdužnoj osi prostorije, dok su u paralelnim zalomima usporedne s njom. Kosi zalomi mogu biti klinasti i lepezasti. Principijelne sheme rasporeda klinastih i lepezastih minskih bušotina prikazane su na sl. 2. Paralelni zalomi mogu biti cilindrični i prizmatični. Cilindrični zalomi imaju praznu bušotinu velikog promjera u središtu zaloma. Ta je bu-



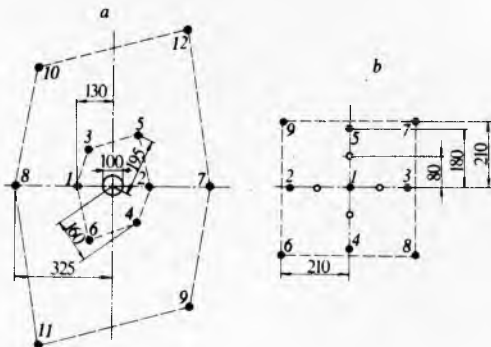
Sl. 4. Principijelne sheme rasporeda minskih bušotina za različite zalome i oblike prostorija. a spiralni zalom, b piramidski zalom, 1, 2, ... redosljed otpucavanja



Sl. 5. Raspored minskih bušotina pri višerednom miniranju niskih etaža



Sl. 2. Sheme rasporeda kosih minskih bušotina. a klinasti zalom, b lepezasti zalom, 1, 2, ... redosljed otpucavanja



Sl. 3. Sheme rasporeda paralelnih praznih i zalomnih minskih bušotina. a dvostruki spiralni zalom, b Grönlundov zalom, 1, 2, ... redosljed otpucavanja

šotina druga slobodna površina prema kojoj se otpucavaju zalomne minske bušotine. U prizmatičnim zalomima umjesto prazne bušotine velikog promjera buši se oko središnje minske bušotine više praznih bušotina jednakog promjera kao i minske bušotine. Prazne bušotine, naime, slabe stijenu u središtu zaloma. Tipovi paralelnih zaloma prikazani su na sl. 3.

Potrebna količina eksploziva (kg) za jedno miniranje plitkim bušotinama može se izračunati prema formuli U. Langeforsa

$$Q = Aq_0 + Aq_1(S - 1), \quad (1)$$

gdje je A napredovanje radijšta za jedno miniranje (m), S površina poprečnog presjeka prostorije (m^2), $q_0 = 7 \dots 13 \text{ kg/m}^3$ specifična potrošnja eksploziva za zalom, a $q_1 = 0,4 \dots 0,8 \text{ kg/m}^3$ specifična potrošnja eksploziva za ostali dio poprečnog presjeka prostorije.

Potrebna broj minskih bušotina u koje će se smjestiti eksplozivno punjenje za jedno miniranje iznosi

$$N = \frac{Q}{Q_b}, \quad (2)$$

gdje je Q eksplozivno punjenje za jedno miniranje (kg), dok je Q_b punjenje eksplozivom jedne minske bušotine (kg), koje se određuje iz izraza

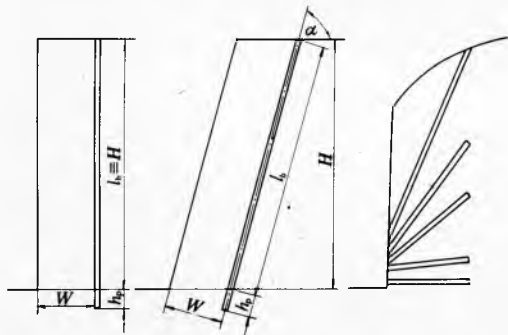
$$Q_b = \frac{2}{3} l_b g \frac{d^2 \pi}{4}, \quad (3)$$

u kojemu je l_b srednja duljina minske bušotine (m), g gustoća eksplozivnog naboja (kg/dm^3), a d promjer minske bušotine (dm).

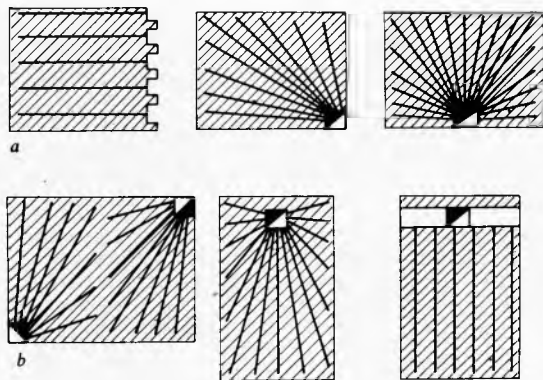
Raspored minskih bušotina treba prilagoditi obliku prostora i odabranom tipu zaloma. Principijelne sheme rasporeda minskih bušotina za različite zalome i oblike prostora prikazane su na sl. 4.

Kada se na površinskim kopovima i kamenolomima sirovina dobiva niskim etažama, tj. u etažama koje nemaju veću visinu od 5 m, minira se također plitkim bušotinama. Bušotine se raspoređuju u jednom ili više redova, a buše se dublje od donje razine etaže (sl. 5).

Miniranje dubokim minskim bušotinama. Takvim miniranjem ostvaruje se odlom i drobljenje stijenskog masiva otpucavanjem serije izduženih eksplozivnih naboja smještenih u dubokim minskim bušotinama. To su bušotine dulje od 6 m i promjera većeg od 60 mm. U stijenskom masivu mogu biti položene vertikalno, koso i horizontalno. Primjenjuje se za otkopavanje visokih etaža na površinskim kopovima i kamenolomima, te za iskope dubljih usjeka i zasjeka. Različiti položaji dubokih minskih bušotina na etažama prikazani su na sl. 6. Da se ostvari intenzivna podzemna eksploatacija, duboke minske bušotine raspoređuju se paralelno ili lepezasto (sl. 7).



Sl. 6. Različiti položaji dubokih minskih bušotina za miniranje viših etaža



Sl. 7. Paralelni i lepezasti raspored dubokih minskih bušotina. a miniranje horizontalnih ploča, b miniranje vertikalnih ploča

Osnovne veličine od kojih zavisi uspješnost miniranja jesu: duljina linije najmanjeg otpora W , razmak minskih bušotina a , duljina minske bušotine L i eksplozivni naboj minske bušotine Q . Za izračunavanje tih veličina postoji mnogo formula, nomo-

grama i tablica. Prema U. Langeforsu duljina linije najmanjeg otpora (m) dobiva se iz relacije

$$W = \frac{D}{33} \sqrt{\frac{GE_g}{svm}}, \quad (4)$$

gdje je D promjer duboke minske bušotine (mm), G gustoća eksplozivnog naboja (kg/dm^3), E_g relativna snaga eksploziva za glavni naboj, $s = s_0 + 0,05$ faktor kojim je određeno svojstvo stijene s obzirom na miniranje (minirljivost stijene), v koeficijent uklještenosti stijene, a $m = 0,8 \dots 1,4$ koeficijent gustoće minskih bušotina. Razmak minskih bušotina određen je relacijom $a = mW$, a duljina bušotine iz relacije

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} + h_p, \quad (5)$$

gdje je H visina etaže, α kut nagiba minske bušotine prema horizontali, a h_p dodatna duljina bušotine ispod dna etaže.

Eksplozivni naboj minske bušotine iznosi

$$Q = Q_g + Q_p, \quad (6)$$

gdje je Q_g glavni eksplozivni naboj

$$Q_g = 1,04 \frac{vas}{E_g} W^2, \quad (7)$$

a Q_p pomoćni eksplozivni naboj

$$Q_p = q_p(v - 1,3 a W^2). \quad (8)$$

U izrazu (8) q_p je specifična potrošnja eksploziva za pomoćni naboj određen izrazom

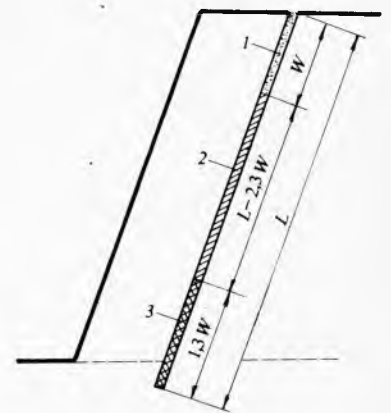
$$q_p = \frac{0,4 q_g}{E_p}, \quad (9)$$

gdje je q_g specifična potrošnja eksploziva za glavni naboj

$$q_g = \frac{Q_g}{1,3 a W^2}, \quad (10)$$

a E_p relativna snaga eksploziva za pomoćni naboj.

Dio minske bušotine iznad eksplozivnog naboja mora se začepiti kako bi se spriječio odlazak plinova eksplozije u atmosferu. Bušotina se brtvi nabušanim materijalom ili negranuliranim vlažnim pijeskom. Dimenzije i raspodjela eksplozivnog punjenja duboke minske bušotine prikazani su na sl. 8.



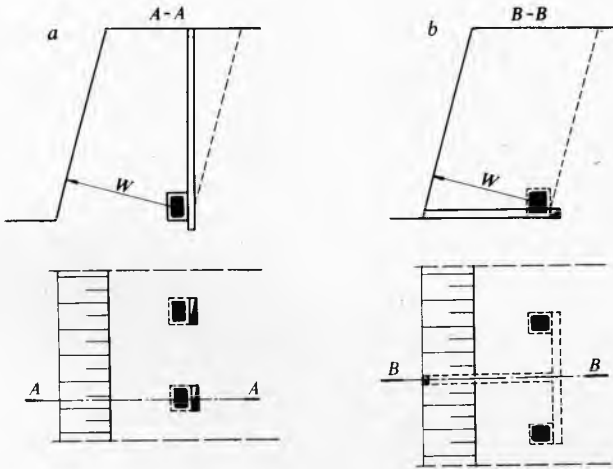
Sl. 8. Dimenzije i raspodjela eksplozivnog punjenja duboke minske bušotine. 1 čep, 2 pomoćni eksplozivni naboj, 3 glavni eksplozivni naboj

Svaka stijena ima specifična fizikalno-mehanička svojstva i strukturu od kojih zavisi otpor stijene miniranju. Za svladavanje tog otpora treba odabrati najpovoljniju vrstu eksploziva. To se može učiniti ljevkastim pokusima s različitim vrstama eksploziva ili na osnovi jednakih akustičkih impedancija stijene i eksploziva. To se postiže ispunjavanjem uvjeta

$$v_u \gamma = v_d \rho, \quad (11)$$

gdje je v_0 brzina širenja uzdužnih valova u stijeni (m/s), γ gustoća stijene (t/m^3), v_p detonacijska brzina eksploziva (m/s), a ρ gustoća eksploziva (kg/dm^3).

Komorno miniranje primjenjuje se za dobivanje velikih količina materijala na površinskim kopovima i kamenolomima s izraženom konfiguracijom terena i tanko uslojenim stijenama. Minirana masa vrlo je nejednolika i pretežno krupne granulacije, te se mora naknadno usitnjivati. Za smještaj velikih količina eksplozivnog punjenja izrađuju se minske komore na kraju hodnika ili na dnu okna (sl. 9).



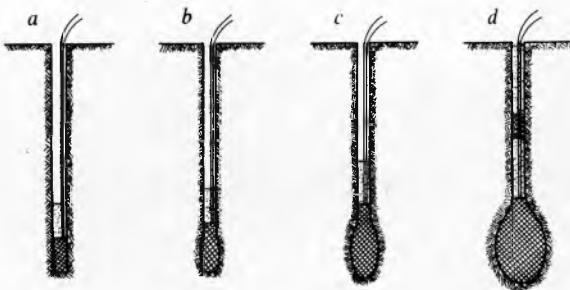
Sl. 9. Položaj minskih komora. a pri dnu okna, b na kraju hodnika

Eksplozivno punjenje (kg) izračunava se iz Weichelt-Chalovne formule

$$Q_k = q_k n W^3, \quad (12)$$

gdje je q_k specifična potrošnja eksploziva (kg/m^3), n koeficijent koji zavisi od vrijednosti linije najmanjeg otpora, a W duljina linije najmanjeg otpora, koja se određuje iz relacije $W = (0,5 \dots 0,7)H$, gdje je H visina etaže. Razmak među minskim komorama iznosi $a_k = (0,8 \dots 1,4)W$.

Kotlovsko miniranje. Kad se proračunati eksplozivni naboj ne može smjestiti u minsku bušotinu određenog promjera, potrebno je donji dio bušotine proširiti. To se postiže otpucavanjem manjeg eksplozivnog naboja pri dnu minske bušotine.

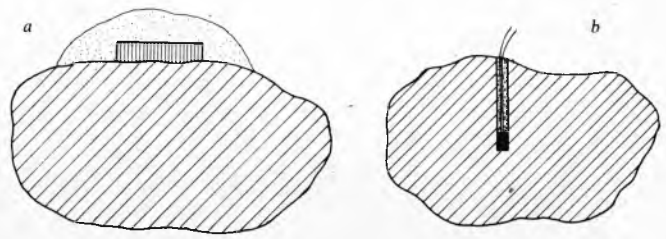


Sl. 10. Shema kotlovskog miniranja. a eksplozivni naboj za prvo proširenje, b eksplozivni naboj za drugo proširenje, c eksplozivni naboj za treće proširenje, d kotlovski eksplozivni naboj

Pri eksploziji stijena se komprimira i nastaje proširenje u obliku kotla. Ako se jednim otpucavanjem ne postigne potrebni volumen kotla, postupak se ponavlja nekoliko puta uz postupno povećavanje eksplozivnog naboja (sl. 10).

Specijalna miniranja izvode se u posebnim uvjetima i u posebne svrhe, a u njih spada miniranje velikih komada stijena, podvodno miniranje, konturno miniranje, miniranje građevina, miniranje leda, vađenje panjeva miniranjem i nuklearno miniranje.

Miniranje velikih komada stijene. Pri svakom masovnom miniranju dio minirane mase odlomi se u prevelikim komadima

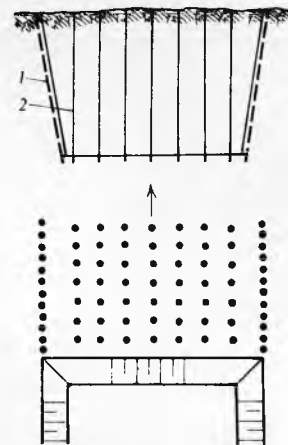


Sl. 11. Shema miniranja velikih komada stijene. a naljepnom minom, b plitkom minskom bušotinom

koje treba naknadno usitniti. To se najčešće postiže miniranjem plitkim minskim bušotinama ili naljepnim minama (sl. 11).

Podvodno miniranje rušenje je stijene pokrite slojem vode, žitke gline ili mulja. Minske se bušotine buše s usidrenih plovničkih platformi, i to u kvadratnoj mreži. Zbog lakšeg punjenja i zaštite od zarušavanja minske se bušotine oblažu plastičnim cijevima. Punjenje minskih bušotina, spajanje mina i druge radove pod vodom obavlja ronioci. Za podvodno miniranje upotrebljavaju se plastični eksplozivi koji se kroz određeno vrijeme mogu održati u vodi bez većeg gubitka eksplozivnih svojstava i koji nisu veoma osjetljivi na prijenos detonacije. Bušotine se aktiviraju dvostrukom linijom štapina za detonaciju s otpornijom izolacijom i pojačanim eksplozivnim punjenjem. Eksplozivni naboj (kg) minske bušotine računa se prema formuli: $Q = qV$, gdje je q specifična potrošnja eksploziva (kg/m^3), a V volumen koji otpada na minsku bušotinu (m^3).

Koturno miniranje služi za dobivanje glatkih i neraspucanih bokova i stropa pri izbijanju podzemnih prostorija i tunela te pri površinskim iskopima. U tu svrhu izbuši se red gustih minskih bušotina po projektiranoj konturi (sl. 12). Konturne minske bušotine mogu se otpucati prije ili poslije miniranja glavne mase stijene unutar projektiranih kontura.



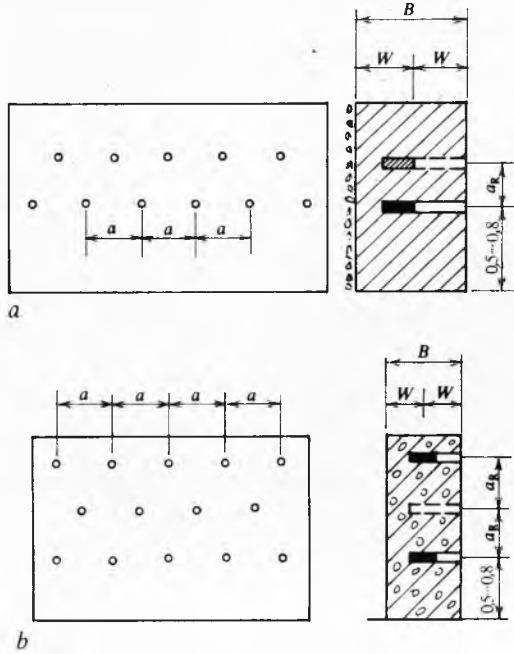
Sl. 12. Shema rasporeda minskih bušotina pri izradbi usjeka ili kanala. 1 konturne minske bušotine, 2 glavne minske bušotine

Ako se konturne minske bušotine otpucavaju prije miniranja glavne mase, nastaje pukotina po projektiranoj konturi u uvjetima velikog uklještenja, jer nema ni jedne slobodne površine. Ako se, međutim, takve bušotine otpucavaju nakon miniranja, one su mnogo manje uklještene, jer je glavnim miniranjem ostvarena slobodna površina. Upotrebom manje brizantnih eksploziva uz malu koncentraciju eksplozivnog punjenja ograničeno je stvaranje većih pukotina oko konturnih minskih bušotina. Koncentracija eksplozivnog naboja i ostale veličine konturnog miniranja zavise od promjera konturnih minskih bušotina i vrste stijene, a određuju se pokusnim miniranjem.

Miniranje građevina. Stare zgrade i druge građevine uspješno se ruše miniranjem. To je vrlo precizan i osjetljiv posao, ali zbog brzine i ekonomičnosti ima prednost s obzirom na ostale metode rušenja. Miniraju se glavne nosive konstrukcije kako

bi se građevina srušila djelovanjem vlastite težine. Nosive se konstrukcije (stupovi, grede, ploče i zidovi) miniraju plitkim minskim bušotinama raspoređenim u 1, 2 ili više redova. Na sl. 13 prikazane su sheme rasporeda minskih bušotina pri miniranju zidova od betona ili cigle. Postavljanje i redosljed otpucavanja eksplozivnih nabojava zavise od smjera rušenja zgrade, koje može biti u stranu ili unutar svojih temelja (sl. 14).

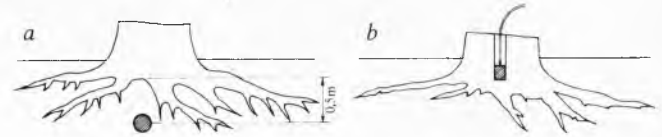
Pri miniranju zgrada u naseljima mora se posebno pažljivo postupiti. Moraju se pokriti minske bušotine, treba evakuirati stanovništvo iz ugrožene zone, treba mjeriti seizmičke oscilacije u okolišnim zgradama, te polijevati zgrade vodom za vrijeme miniranja radi obaranja prašine.



Sl. 13. Raspored minskih bušotina za miniranje zidova od betona ili cigle. *a* zid s jednom slobodnom površinom, *b* potpuno slobodan zid

Miniranje leda. Eksplozivni naboj se stavlja ispod leda na dubinu od 1,25 m. Kad je dubina vode ispod leda manja od 2,5 m, eksplozivni se naboj stavlja na polovicu dubine. Naboji se spuštaju kroz rupe probušene u ledu. Sante leda miniraju se naljepnim eksplozivnim nabojima.

Vađenje panjeva miniranjem. Najjednostavnije je vađenje panja pomoću eksplozivnog naboja smještenog na dubini od 0,5 m ispod njega (sl. 15a). Panj se može izvaditi i pomoću eksplozivnog naboja u bušotini izbušenoj odozgo (sl. 15b) ili sa strane u panju.



Sl. 15. Vađenje panjeva miniranjem. *a* eksplozivni naboj u bušotini ispod panja, *b* eksplozivni naboj u bušotini izbušenoj u panju

Nuklearno miniranje. Eksperimentima je dokazana primjena nuklearnog miniranja u privredi, jer su troškovi takva miniranja mnogo niži od konvencionalnih metoda miniranja. Osim toga, nuklearno je miniranje vrlo jednostavno, jer se nuklearni naboj velike kompaktnosti može smjestiti u bušotinu relativno malog promjera. Snaga nuklearnih eksplozivnih nabojava izražava se masom TNT (trinitrotoluola) u tonama (v. *Nuklearno oružje*). U privredne svrhe upotrebljavaju se nuklearni naboji snage do 30 kt. Nuklearnim miniranjem izrađuju se podzemna spremišta nafte, zemnog plina i opasnih otpadaka, usitnjuju se siromašne rude iz kojih se zatim izluživanjem dobivaju metali, premještaju se velike količine stijenskih masa pri površinskoj eksploataciji i pri gradnji nasutih brana. Eksplozija nuklearnog naboja nekontrolirana je lančana reakcija cijepanja atoma djelovanjem oslobođenih neutrona. Tom se reakcijom oslobađaju velike količine energije uz razvijanje visoke temperature, visokog tlaka i intenzivnog zračenja. Pri djelovanju nuklearne eksplozije razlikuju se 4 faze: nuklearna reakcija, hidrodinamičko, kvazistatičko i termoradijacijsko djelovanje. Te su faze shematski prikazane na slici 16. U fazi nuklearne reakcije oslobađa se sva



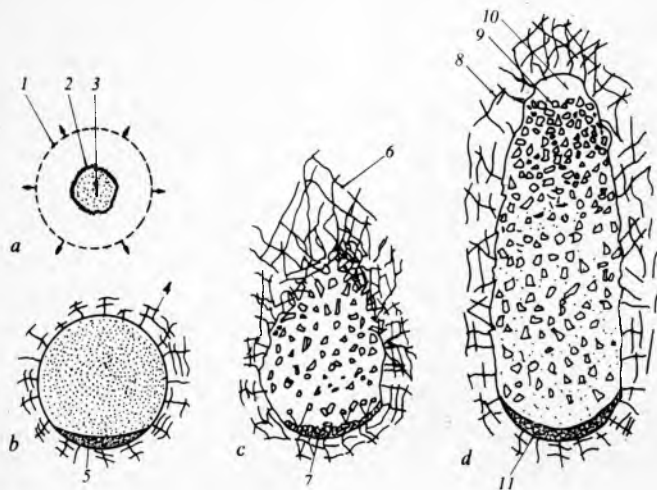
Sl. 14. Rušenje zgrada miniranjem: rušenje u stranu (gore) i urušavanje (dolje)



energija nuklearnog naboja. U fazi hidrodinamičkog djelovanja nastaje taljenje i isparivanje stijene. Udarni valovi drobe stijenu u blizini mjesta eksplozije, a na većoj udaljenosti nastaju seizmički valovi. U fazi kvazistatičkog djelovanja tlak se snizuje,

VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969. — R. Gustafsson, Swedish blasting technique. Nora Boktryckeri, Gothenburg 1973. — Э. О. Мундел, Разрушение горных пород. Недра, Москва 1974. — H. Heinz i dr., Handbuch Sprengtechnik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975.

J. Krsnik



Sl. 16. Faze djelovanja nuklearne eksplozije. *a* neposredno nakon nuklearne reakcije, *b* hidrodinamičko djelovanje, *c* kvazistatičko djelovanje, *d* konačno stanje. 1 udarni val, 2 šupljina koja expandira, 3 pare na visokoj temperaturi i tlaku, 4 pukotine, 5 rastaljena stijena, 6 razaranje stijene napreduje naviše, 7 razorena stijena pomiješana s talinom, 8 raspucana stijena, 9 smrvljena stijena, 10 prazni prostor, 11 ohlađena staklasta masa (»lava«)

počinje razaranje stijene i stvaranje konusne šupljine. U fazi termoradijacijskog djelovanja prestaje razaranje stijene i u potpunosti se oblikuje konusna šupljina. Pri tom se postepeno odvodi toplina i raspadaju radioaktivni elementi. Posljednja faza može trajati i nekoliko godina.

ŠTETNO DJELOVANJE MINIRANJA

Nakon svakog miniranja pojavljuju se seizmički valovi u okolišnom tlu, te zračni udarni valovi i razbacivanje komada minirane mase u okoliš. To su nepoželjne pojave, osobito pri miniranju u blizini stambenih zgrada i drugih građevina, jer mogu prouzročiti njihova oštećenja.

Seizmičko djelovanje miniranja slično je potresima i za obje pojave vrijede slične zakonitosti. Miniranje treba promatrati kao slabi potres, a mjesto eksplozije kao njegov epicentar. Intenzitet potresa i njegovo štetno djelovanje na građevine utvrđuje se indirektnim postupkom, tj. na osnovi izmjerenih pomaka, brzina i ubrzanja oscilacija tla nakon miniranja. U praksi se najčešće primjenjuje kriterij brzine oscilacije tla.

Zračni udarni val u bližoj zoni eksplozije djeluje dinamički a u daljoj zoni statički. Pri nailasku na građevinu pojavljuju se u njoj naprezanja djelovanjem zračnog udarnog vala. Ako su ta naprezanja veća od čvrstoće materijala, nastaju deformacije ili rušenje. Polumjer zone ugroženosti od djelovanja zračnog udarnog vala računa se prema formuli $R_z = k_z \sqrt{Q}$ (m), gdje je Q količina eksplozivnog punjenja (kg), a k_z koeficijent koji zavisi od stupnja oštećenja i pokazatelja djelovanja eksplozije.

Razbacivanje komada minirane mase opasno je za ljude i osjetljive dijelove građevina i uređaja. Daljina razbacivanja (m) zavisi od duljine linije najmanjeg otpora i pokazatelja djelovanja eksplozije. Aproximativno se može odrediti prema formuli

$$R_r = 255 n^{0.75} \sqrt{W}, \quad (13)$$

gdje je n pokazatelj djelovanja eksplozije, a određen je relacijom $n = R/W$ u kojoj je R polumjer lijevka eksplozije, a W duljina linije najmanjeg otpora.

LIT.: U. Langejors, B. Kihlström, The modern technique of rock blasting. Almqvist and Wiksells Boktryckeri Aktiebolag, Uppsala 1963. — Surface mining. The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc., New York 1968. — F. Weichelt, Handbuch der Sprengtechnik.

MJERENJA U INŽENJERSKOJ GEODEZIJI, primjena geodetskih metoda mjerenja u projektiranju i gradnji građevina te u praćenju njihovih deformacija. Često se inženjerska geodezija naziva i primijenjenom geodezijom, iako prvi naziv bolje označuje područje primjene koje je blisko povezano s građenjem.

Iskolčenje je osnovna geodetska operacija za obilježavanje projektirane građevine na terenu; za razliku od snimanja terena, iskolčenje redovito zahtijeva i veću točnost. Metode iskolčenja izložit će se na početku jer su one zajedničke za sve primjene. Zbog šire primjene potpunije će se obraditi trasiranje prometnica, a od ostalih primjena spomenut će se samo najvažnije. Mjerenja pomaka i deformacija građevina većim su dijelom obuhvaćena u članku *Brane, osmatranje*, TE 2, str. 133.

ISKOLČENJE

Građevine se grade na osnovi projekata prikazanih na geodetskim podlogama, kartama i planovima. Prethodni se premjer terena i izradba planova izvode da se dobije geodetska podloga za projekt. Međutim, u sastavni dio geodetskih radova spada i obilježavanje projektirane građevine na terenu. Radovi kojima se projekt s planovima prenosi na teren nazivaju se iskolčenjima.

Iskolčenje je inverzna operacija premjeru, odnosno snimanju. Snimanjem se na osnovi terenske izmjere izrađuju planovi, a iskolčenjem se projektirane građevine s planova prenose na teren obilježavanjem karakterističnih točaka u položajnom i visinskom smislu. Zato se i metode iskolčenja razlikuju od metoda snimanja.

Opcenito, projektirana građevina prenosi se na teren u dvije etape. Najprije se *iskolčuju glavne osi* građevine, i to najčešće polazeći od točaka postojeće geodetske osnove. Preporučljivo je i ekonomično da to bude ista osnova koja je poslužila i za premjer terena prilikom izradbe geodetske podloge projekta. Obilježavanjem glavnih osi utvrđen je opći položaj i orijentacija građevine na terenu. U drugoj etapi, *detaljnim iskolčenjem*, obilježuju se sve karakteristične točke koje određuju projektiranu građevinu. Pri tom se detaljne točke redovito iskolčuju od već obilježenih glavnih osi, a prema razmještaju dijelova građevine. Za drugu etapu iskolčenja redovito se traži veća točnost, jer je, umjesto apsolutnog smještaja, važnije što vjernije sačuvati oblik i dimenzije projektirane građevine. Pri iskolčenjima često se visoka točnost zahtijeva samo u jednom smjeru; npr. kad je tunel u pravcu, mnogo je važnije smanjiti poprečne od uzdužnih pogrešaka koje mogu biti znatno veće.

Elementi iskolčenja. Proces se iskolčenja građevine sastoji u orijentiranju glavnih osi i obilježivanju položaja i visinski karakterističnih točaka. Sve se metode iskolčenja točke svode na prijenos osnovnih elemenata: *horizontalnog kuta, dužine i visine*.

Prijenosu projektirane građevine na teren prethode pripremni radovi: sastavljanje skica iskolčenja s podacima priklička glavnih osi na točke geodetske osnove i razradba geodetskog projekta za iskolčenje.

Elementi položajnog iskolčenja građevine određuju se grafičkim, grafičko-analitičkim i analitičkim postupkom.

Ako pogreške iskolčenja bitno ne utječu na funkciju građevine, primijenit će se *grafički postupak*. Koordinate se očitavaju s plana grafički, a elementi se iskolčenja, kutovi i dužine proračunavaju pomoću koordinata. Ako zadovoljava još manja točnost, kutovi i dužine očitavaju se neposredno s plana. Kod grafičkog postupka pogreške elemenata iskolčenja ovise najviše o točnosti i mjerilu plana.