

tek pred početkom drugog svjetskog rata učinjeni su pokušaji organiziranja državnih rudarsko-metalurških poduzeća.

U novoj Jugoslaviji svi su rudnici nacionalizirani. U vrlo kratkom roku, do 1956. godine, rudarska se proizvodnja udvostručila.

Rekonstrukcijom starih i otvaranjem novih rudnika proizvodnja je rasla i dalje (tabl. 1). Vidi se i nazadovanje produkcije nekih sirovina, i u rovnom stanju i u vidu finalnih proizvoda. To se odnosi na kameni ugljen, antimon, živu, bizmut i srebro. Potpuno je obustavljena proizvodnja mangana i kroma, što je posljedica iscrpljenja rudišta. Rezerve mineralnih sirovina u Jugoslaviji ipak su još značajne u evropskom, a neko od njih i u svjetskom mjerilu. U tabl. 2 prikazan je udio Jugoslavije u svjetskoj proizvodnji nekih važnijih ruda. U 1956. i 1984. godini Jugoslavija, npr., u Evropi zauzima 2. mjesto u proizvodnji ruda antimona, aluminija i olova, a treće u proizvodnji ruda bakra u 1984. godini. Izuzme li se SSSR, položaj Jugoslavije među evropskim proizvođačima još je i povoljniji. Može se zaključiti da je Jugoslavija važan proizvođač mineralnih sirovina.

Na sl. 10 prikazani su danas aktivni rudnici u Jugoslaviji.

Dalji razvoj rudarstva. Procjene rezervi mineralnih sirovina ne mogu biti pouzdane prije nego što se obave kompletni rudarski istražni radovi. Kako to za velika rudišta ili rudna područja često nije moguće zbog vremenskih, finansijskih, tehničkih i saobraćajnih razloga, oni se ne provode, već se rezerve procjenjuju mahom na temelju analogija, što dovodi do pogrešnih prognoza. Zato se i prognoze o brzom iscrpljenju glavnih mineralnih sirovina, koje su se pojavile prije petnaestak godina, nisu ostvarile. Naprotiv, pronađene su nove rezerve deficitarnih sirovina, osobito u nerazvijenim zemljama. Osim toga, potražnja metala, pa prema tome i sirovina za njihovo dobivanje, opada, jer industrija postepeno napušta metale zamjenjujući ih u prvom redu polimernim materijalima. Zato se može očekivati da će rudarstvo i ubuduće namirivati potrebe industrije mineralnim sirovinama. Pritom će sve više biti naglašen ekološki pristup rudarskim radovima, jer je zanemarivanje utjecaja na okolinu uzrokovalo, npr. u SAD, usporavanje pa i obustavljanje rudarske djelatnosti u nekim područjima.

LIT.: E. Laszowski, Rudarstvo u Hrvatskoj. Nakladni odjel Hrv. državne tiskare, Zagreb 1942. – V. Simić, Istoriski razvoj našeg rudarstva. Izdavačko-štamparsko preduzeće Saveta za energetiku i ekstraktivnu industriju, Beograd 1951. – M. J. Dimić, Za istoriju rudarstva u srednjovekovnoj Srbiji i Bosni. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd 1955. – L. Suhling, Aufschlissen, Gewinnen und Fördern, Geschichte des Bergbaus. Deutsches Museum – München. Rohwolt, Reinbek b. Hamburg 1983. – W. Arnold (red.), Erobern der Tiefe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig "1983. – I. Češmiga, Rudarstvo LR Slovenije. Nova proizvodnja, Ljubljana 1959.

R. Marušić

RUDARSTVO, ISTRAŽNI RADOVI, utvrđivanje postojanja, položaja i oblika ležišta mineralnih sirovina, njihove količine i kvalitete, te geološko-rudarskih karakteristika neposredne okoline.

U biti, metode rudarskih istražnih radova nisu se mijenjale od prethistorije, kada je čovjek kamenog doba iz Zemljine kore čupao komade krema za izradbu prvog oruđa i oružja. Iskustvo ga je naučilo da se odredena mineralna sirovina (kremen, bakar, željezo, zlato) uvijek nalazi u određenoj prirodnoj sredini. Na traženju takvih specifičnih prirodnih sredina temelje se i rudarski

istražni radovi. Raskopavanje tla, prvo rukama, pa nekim alatom i najzad strojevima, zatim kopanje okana i, u nastavku, hodnika koji idu od njih u različitim pravcima, bile su glavne i praktički jedine metode za istraživanje mineralnih sirovina sve do XIX. st. U to su se doba upotrebljavale i viline rašlje za istraživanje mineralnih sirovina (sl. 1).

Revolucionarnu novinu u rudarske istražne radove unosi tek bušilica (na parni pogon) sredinom XIX. st. i ideja Švicarsca N. Leschota (1863) da se za bušenje u tvrdim stijenama primijeni bušaća kruna s industrijskim dijamantima. Od tada su se rudarske koncesije za istraživanje i eksplotaciju mineralnih sirovina mogle dobiti prema rudarskim zakonima na osnovu stvarnih, pozitivnih rezultata istražnog bušenja, što je u velikoj mjeri pridonijelo unapređenju i razvoju rudarske djelatnosti u cijelom svijetu.

Kategorizacija rezervi. Kako su rezultati istražnih radova osnova za planiranje rudarskih investicija, dakle za zamašne finansijske pa i političko-ekonomske zahvate, oni su već davnog kodificirani. To se posebno odnosi na količinu i kakvoću utvrđenih sirovinskih rezervi, tj. na *klasifikaciju i kategorizaciju rezervi*. Početkom ovog stoljeća ta su nastojanja rezultirala prešutnim prihvaćanjem tzv. *internacionalnog sustava kategorizacije*, kojim su rezerve mineralnih sirovina podijeljene na *sigurne, vjerojatne i moguće*. Prema definiciji iz 1902. sigurne su rezerve one koje su rudarskim istražnim radovima otvorene sa tri ili četiri strane, vjerojatne one koje su otvorene sa dvije strane ili se pretpostavlja da se u ograničenu opsegu nastavljaju na poznata ležišta, a moguće su one koje su otvorene s jedne strane ili se samo pretpostavljaju da postoje.

I unatoč nedostacima, taj se sustav održao desetljećima, pa se, bar u principu, primjenjuje još i danas, ali su u mnogim zemljama, otprilike od tridesetih godina ovog stoljeća, izrađeni i novi, zakonski obvezni, sustavi. Namjera je bila da se novoprondaene rezerve što strože razgraniče što preciznijim definicijama pojedinih kategorija. Te su tendencije osobito izražene u planski usmjeravanim privredama, gdje su propisani opširni i detaljirani obvezni pravilnici o klasifikaciji i kategorizaciji mineralnih sirovina. Karakteristike su tih propisa: uvođenje većeg broja kategorija, najmanje pet, određivanje dopuštenih kalkulacijskih pogrešaka u postocima i definiranje svrhe u koju se pojedine kategorije mogu, odnosno smiju upotrijebiti. U Jugoslaviji su se primjenjivali različiti propisi, a sada je na snazi Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima (Službeni list 53/1979).

Prema tom pravilniku rezerve se mineralnih sirovina svrstavaju u 6 kategorija: A, B, C₁, C₂, D₁ i D₂.

U *kategoriju A* uvrštavaju se ležišta čvrstih mineralnih sirovina za koja su istražnim radovima potpuno detaljno, bez ekstrapolacije, utvrđene karakteristike *u opsegu koji omogućuje utvrđivanje metode eksplotacije mineralne sirovine*. U *kategoriju B* idu ležišta u kojih su istražnim radovima utvrđene karakteristike *u opsegu koji omogućuje dobivanje osnovnih elemenata za utvrđivanje metode eksplotacije mineralne sirovine*. Za rezerve *kategorije B* dopuštena je ekstrapolacija (u stupnju određenom kriterijima propisanim za pojedine sirovine). U *kategoriju C₁* uvrštavaju se mineralne sirovine koje pod određenim uvjetima mogu biti eksplorirane na osnovi djelomičnog poznавanja geološko-rudarskih prilika i kemijsko-tehnoloških karakteristika. Dopuštena je ekstrapolacija rezerva C₁. U *kategoriju C₂* uvrštavaju se potencijalne rezerve s karakteristikama određenim na temelju geoloških podataka i djelomično provjerenim istražnim radovima. Rezerve *kategorije C₂* procjenjuju se geološki. I *kategorija D₁* obuhvaća potencijalne rezerve mineralnih sirovina koje su pretpostavljene na osnovi analize općih geoloških prilika i usporedbe podataka detaljne prospekcije te istražnih i starijih eksploracijskih radova u promatranoj području. U *kategoriju D₂* potencijalnih rezervi učvršćuju se mineralne sirovine koje se pretpostavljaju na temelju kompleksnih geoloških, mineraloško-petroloških i drugih potrebnih ispitivanja *koja određuju uvjete lokalizacije oruđenja mineralne sirovine*. Kategoriji D₂ pripadaju i potencijalne rezerve područja na kojima nisu otkrivene ni pojave mineralne sirovine, ali se njihovo postojanje može pretpostaviti.

Rezerve A, B i C₁ pripadaju u bilančne i izvanbilančne rezerve, dok se rezerve C₂, D₁ i D₂ ne razvrstavaju u bilančne



Sl. 1. Istražni radovi u srednjem vijeku (po Agricoli, 1556). A rašljari, B kopanje istražnog jarka

i izvanbilančne rezerve. Rezerve C₂, D₁ i D₂ služe samo za planiranje osnovnih geoloških istraživanja.

Primjena Pravilnika čini poteškoće zbog pretjerane preciznosti odredaba, pa razvrstavanje istražnim radovima utvrđenih zaliha iziskuje nesrazmjerne mnogo vremena. Osim toga, praktično je nemoguća usporedba s drugim sustavima kategorizacije, a to je u programiranju i projektiranju istražnih radova često potrebno.

Programiranje, projektiranje i izvođenje istražnih radova mogu obavljati samo rudarske organizacije. To je na cijelom svijetu danas, bez izuzetka, regulirano rudarskim zakonima. U Jugoslaviji je za cijelu zemlju do 1975. god. vrijedio Osnovni zakon o rudarstvu, a otada, nakon prelaska reguliranja odnosa u rudarstvu u nadležnosti republika i pokrajina, svaka republika ima svoj rudarski zakon. U SR Hrvatskoj sada je (1987) na snazi Zakon o rudarstvu od 1. lipnja 1983. Prema tom zakonu (a tako je, u načelu, i prema svim drugim republičkim rudarskim zakonima) istraživanje i eksploataciju mineralnih sirovina može obavljati rudarska organizacija registrirana za obavljanje te djelatnosti, i to nakon što ishodi odobrenje za istraživanje od republičkog organa uprave nadležnog za poslove rudarstva. Spomenutim odobrenjem dodjeljuje se tzv. istražni prostor u kojem se jedino istražni radovi smiju izvoditi. Oblik i veličina tog prostora mogu biti po volji, ali se istražni radovi ne smiju izvoditi na prostoru gradskih naselja, javnih prometnica, vodoprivrednih objekata, vojnih objekata, groblja, spomenika kulture, elektroenergetskih vodova i postrojenja, te ispod pojedinačnih zgrada izvan gradskih naselja i na udaljenosti manjoj od 40 m od tih zgrada.

Izvođenje istražnih radova

Rudarski se istražni radovi obavljaju najčešće u tri faze: proučavanje postojeće dokumentacije, geološko-rudarska prospekcija i istražni radovi u užem smislu.

Proučavanje postojeće rudarsko-geološko-historijske dokumentacije o terenu koji treba rudarski istražiti veoma je važno i zato što i u svjetskim razmjerima ima malo rudarski perspektivnih područja o kojima ne bi bilo baš nikakvih

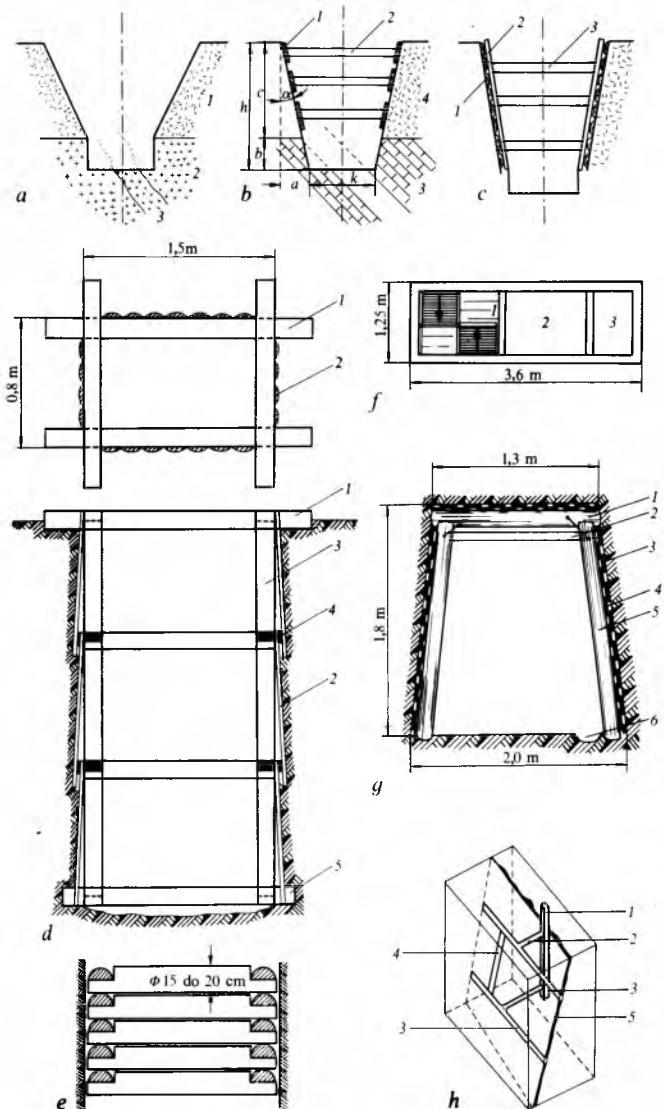


Sl. 2. Izdanak bituminoznih dolomita

istorijskih obavijesti. To pogotovo vrijedi za Evropu, pa tako i za Jugoslaviju. O velikoj većini rudarskih nalazišta postoje pisani tragovi u starim dokumentima, pa ih treba pažljivo proučiti.

Geološko-rudarska prospekcija. Tom se prospekcijom utvrđuju geološke prilike istraživanog područja. Opseg i domet tih radova zavisi od postojećih geoloških podloga, a mahom se ograničuje na dopunu tih podloga ili izradbu novih geoloških priručnih skica i karata. Pritom se osobita pažnja posvećuje lociranju *izdanaka* tražene mineralne sirovine (sl. 2). To su mesta gdje se sirovina pojavljuje na površini. Kako ti izdanci mogu biti prekriveni humusom, aluvijalnim i diluvijalnim nanosima, često se već pri prvim koracima prospekcije moraju izvesti manji rudarski zahvati (raskopi, jarki i sl.), tako da nema nikakve stroge granice između prospekcije i rudarskih istražnih radova u užem smislu.

Rudarski istražni radovi u užem smislu obuhvaćaju izradbu raskopa, jarka, usjeka, pličih i dubljih okana, potkopa, podzemnih hodnika, uskopa i niskopa, pličih i dubljih bušotina te primjenu geofizičkih metoda i daljinskih istraživa-



Sl. 3. Rudarski istražni radovi u užem smislu. a) jarak s bankinom bez podgradivanja; 1 stabilni nanos, 2 granit, 3 rudna žila; b) jarak podgrađen drvom s osiguranjem bokova; 1 daske, 2 raspiraci, 3 vapnenac, 4 ruda; c) jarak podgrađen drvom s oblaganjem bokova okrajima: 1 okrajci, 2 bočne grede, 3 raspiraci; d) plitko istražno okno s razmaznutim vijencem; 1 površinski vijenac, 2 obloga, 3 podupirač, 4 klin, 5 temeljni vijenac; e) plitko istražno okno s gustum vijencima; f) tlocrt dubljeg istražnog okna: 1 odjeljak za prolaz, 2 odjeljak za izvoz, 3 odjeljak za odvodnjavanje i vjetrenje; g) istražni hodnik ručne izradbe s podgradom: 1 stropnica, 2 raspirać, 3 i 4 okrajci za zalađanje, 5 stojka, 6 jarak za vodu; h) dubinsko istraživanje rudnog tijela: 1 istražno okno, 2 prečnik, 3 smjerni hodnik, 4 uskop, 5 rudno tijelo (strmi sloj)

nja. Geofizičke su metode opisane u članku *Geofizika*, TE 6, str. 75, a daljinska istraživanja u posebnom poglavljju ovog članka.

Raskopi su najjednostavniji istražni radovi i služe raskrivanju i čišćenju izdanaka i njihovih kontaktnih zona. Oni treba da omoguće pravilno uzorkovanje i mjerjenje magnetskog azimuta pružanja i nagiba stijena (v. *Geologija*, TE 6, str. 108). Raskopi se obično ne održavaju.

Jarcima se posvećuje više pažnje, pa se često i podgrađuju (sl. 3a, b i c). I oni služe za raskrivanje, praćenje i određivanje osnovnih geoloških elemenata u izdancima, osobito takvih koji su prekriveni pličim nanosima. U nestabilnim naslagama jaci imaju nagib koji se može definirati omjerom horizontalne projekcije boka a i dubine h (sl. 3b), pa je $a/h = \tan \alpha$, gdje je α vertikalni kut nagiba. U sipkim naslagama taj je omjer 1:1 do 1:2 ($\alpha = 30\cdots45^\circ$), u pjeskovito-glinastim naslagama 1:5 ($\alpha = 15^\circ$) i u kompaktним 1:10 ($\alpha = 6^\circ$). Dubina je jarka $h = c + b$, gdje je c debljina nanosa, a b dubina jarka u zdravici; b obično iznosi od 0,2 do 0,6 m, što je dovoljno za uzorkovanje. Donja širina jarka k iznosi od 0,4 \cdots 0,8 m (za jarke s vertikalnim bokovima više, a manje za trapezaste profile).

Istražna okna (sl. 3d, e i f) mogu biti duboka i više od 100 m. U tzv. plitka okna ubrajaju se ona do 20 m. Najviše se primjenjuju u istraživanju, pa i u otvaranju rudnih tijela sa strmim padom, ali i pri istraživanju pličih rasipnih ležišta (aluviona) plemenitih metala i dragog kamenja. Najprikladnije su dimenzije za plitka okna $0,7 \times 1,2$ m do $1,0 \times 1,5$ m kad se radi s jednim radnikom, odnosno $1,0 \times 1,8$ m kad se radi s dva radnika. Do dubine od 2 \cdots 3 m materijal se može izbacivati lopatom, a za veću dubinu mora se upotrijebiti vitlo, ručno ili motorno, ili se pak materijal mora prebacivati preko etažnih drvenih podesta. Plitka okna mogu biti i bez podgrade. Ako se podgrađuju, drveni podgradni vijenci mogu biti razmaknuti (sl. 3d) ili gusti (sl. 3e). Razmaknuti vijenci primjenjuju se pri stabilnim i polustabilnim stijenama, a gusti pri nestabilnim. Dubla istražna okna dube se za detaljna rudarska istraživanja koja su često namijenjena i utvrđivanju rezervi kategorije B. Gotovo se uvijek dubla okna izrađuju s više odjeljaka (sl. 3f), a obično se na njih veže sustav podzemnih istražnih hodnika (sl. 3h). Standardne dimenzije za duble okno s tri odjeljka iznose $1,25 \times 3,60$ m.

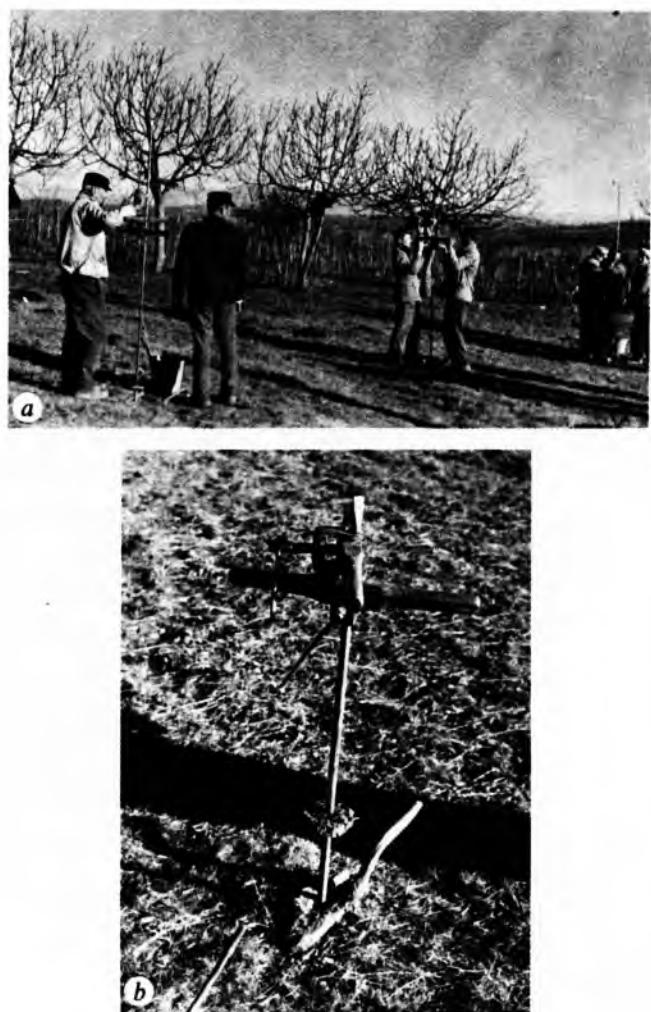
Istražni hodnici (sl. 3g) standardiziranog su profila. Kad se izrađuju ručno, a tada se i otkopani materijal izvozi ručno, profil ima površinu $\sim 3 \text{ m}^2$, a profil hodnika s jednim kolosijekom određen je standardom JUS B.Z.20.201 i iznosi $3,8 \text{ m}^2$. Za takve veće hodnike mahom se primjenjuje mehanizacija sa strojnim bušilicama i odvozom materijala vagonetima. U hodnicima se izrađuju bočni kanalići za otjecanje vode (6 na sl. 3g). Zato se hodnici rade s malim usponom, 1:500 do 1:1000, što ujedno olakšava izvoz materijala punim kolicima niz padinu.

Istražna bušenja su najbolji, najbrži, relativno najjeftiniji, a često i jedino primjenljivi postupci za ležišta pokrivena krovinom te za dublje dijelove rudišta. Danas se buši gotovo samo strojevima, ali ponegde još i ručno. Tako su se boksitna ležišta u Istri desetljećima, sve do 1979., istraživala ručnim bušaćim garniturama (sl. 4). Bušaće su šipke bile duge do 3 m i nastavljale su se navojima jedna na drugu, a na najdonjonj je bilo navijeno spiralno svrdlo. Buši se rotacijski-perkusivno (obrtno-udarno), a može se postići dubina do $\sim 15\cdots20$ m. Na sličan se način radilo i na boksitnim terenima u Hercegovini.

Ručno bušenje primjenjuje se i danas u prvom rekognosiranju terena, i za *uvodno bušenje* dubokih bušotina. U tehnički nerazvijenim krajevima gotovo je nezamjenljivo za bušenje bunara.

Istražno bušenje u rudarstvu primjenjuje se u svim fazama istraživanja mineralnih sirovina, ali se njime i za vrijeme eksploatacijskih radova često usmjeravaju pripremni podzemni radovi na otvaranju novih dijelova ležišta i u drugim djelatnostima.

Oprema za istražno bušenje (v. *Bušenje na veliku dubinu*, TE 2, str. 552; v. *Nafta*, TE 9, str. 190) veoma je raznovrsna



Sl. 4. Istražna bušenja ručnim garniturama. a ekipni rad na terenu, b rukohvatni bušaćim šipkama

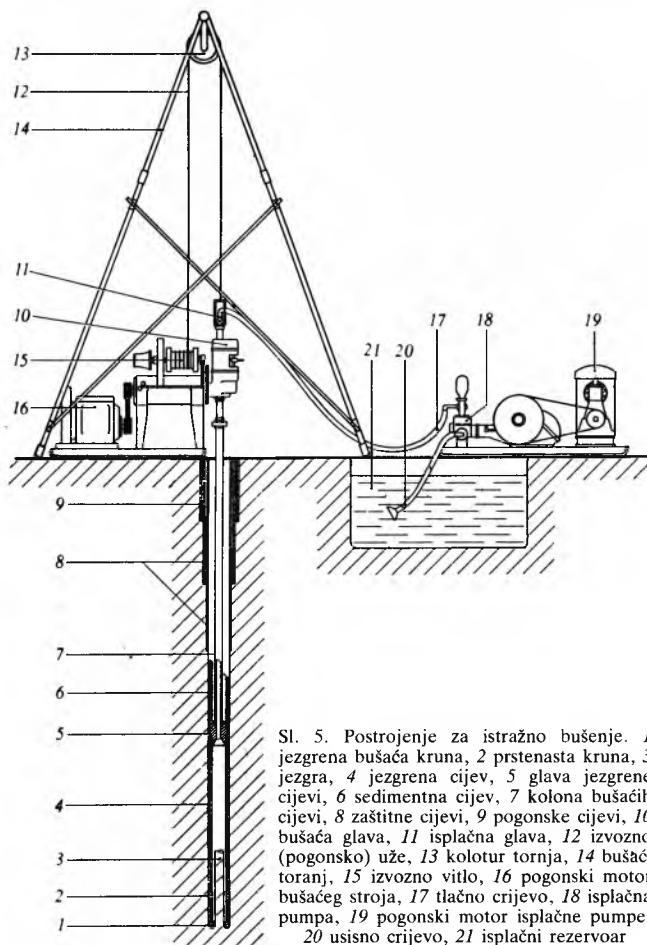
i sastoji se od strojnih bušilica različitih tipova, tornja za vertikalno i koso bušenje, isplačne pumpe, kompresora, bušaćih šipaka, aparata za jezgrovanje, krunâ, zaštitnih cijevi i drugog pomoćnog pribora za instrumentaciju, pribora za mjerjenje nagiba i skretanja bušotine, za orijentiranje jezgre, za kontrolu kvalitete isplake, taložnih naprava, cementacijskog i karotažnog pribora, opreme za mjerjenje vodopropusnosti, pribora za mjerjenje razine podzemne vode, za uzimanje dubinskih uzoraka vode iz bušotine, za mjerjenje kretanja vode i indiciranje mjesta gubitaka vode u bušotini, opreme za televizijsko snimanje i fotografiranje kanala bušotine, opreme za crpljenje vode komprimiranim zrakom (airlift), za hermetiziranje ušća bušotine protiv erupcije vode i plina, te mjeraca protoka vode i sitnog alata za rukovanje priborom.

Dio je navedene opreme i pribora standardiziran. U upotrebi su dva sustava standarda: evropski i američki. Evropski sustav ISO osniva se na švedskom, Craeliusovu sustavu, i po njemu su, od 1968., izrađeni i jugoslavenski standardi tog pribora (JUS K.R1.050 do K.R1.212).

Američki standard DCDMA (Diamond Core Drill Manufacturers Association) razlikuje se od evropskog već i po tome što daje mjere po anglosaksonском sustavu. Ipak, iako je u nas u upotrebi evropski sustav, ponekad se, pri bušenju s neprekidnim jezgrovanjem WR (wire line), primjenjuje i standard DCDMA.

Oba standarda, i evropski i američki, obuhvaćaju samo glavne dimenzije pribora za bušenje, kao što su vanjski promjer kruna, bušaćih šipki i jezgrenih uređaja, te za zaštitne cijevi i unutrašnji promjer, dok u pogledu tehničkih karakteristika čelika, ostalog materijala i konstrukcije, osim navoja, izbor prepustaju proizvođačima.

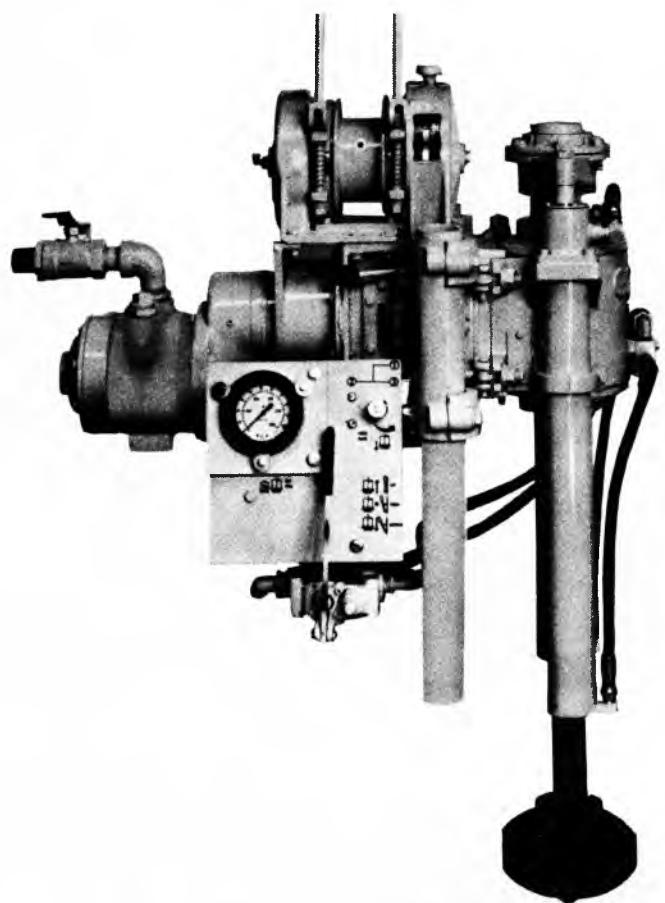
Na sl. 5 shematski je prikazano standardno postrojenje za istražno bušenje. Rotacijska glava okreće se i u bušotini potiskuje bušače šipke koje na donjem kraju imaju uređaj za jezgrovanje s krunom. Jezgra cilindričnog oblika pri bušenju prstenastom krunom ulazi u jezgrenu cijev, te se u intervalima od 3...6 m izvlači na površinu. Isplačna tekućina (voda ili specijalna, najčešće bentonitna isplaka), potiskivana pumpom po bušačim šipkama i kroz krunu na dno bušotine, iznosi smrvljene komadiće stijena na površinu u taložnike, odakle se uzimaju prvi uzorci kojima se dopunjaju saznanja koja se poslije dobivaju jezgrama iz bušotine. Isplaka osim toga hlađi krunu i sprečava zarušavanje bušotine u nestabilnim stijenama prije ugradnje zaštitnih cijevi kroz koje se buši krunom manjeg promjera. Nakon završetka intervala bušenja, koji zavisi od duljine jezgrene cijevi i lomljivosti jezgre, pribor se vadi iz bušotine, a bušenje se nastavlja nakon vadenja jezgre i ponovnog spuštanja pribora na šipkama u bušotinu. Za operaciju dizanja i spuštanja služi vitlo s bubnjem i toranj s koloturom preko kojeg prolazi čelično uže za dizanje bušačeg pribora.



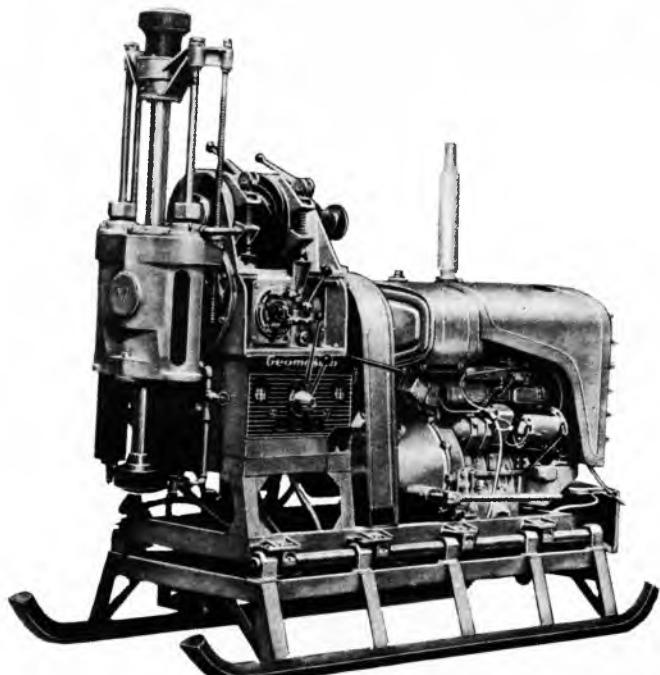
Sl. 5. Postrojenje za istražno bušenje. 1 jezgrena bušaća kruna, 2 prstenasta kruna, 3 jezgra, 4 jezgrena cijev, 5 glava jezgrene cijevi, 6 sedimentna cijev, 7 kolona bušačih cijevi, 8 zaštitne cijevi, 9 pogonske cijevi, 10 bušaća glava, 11 isplačna glava, 12 izvozno (pogonsko) uže, 13 kolotur tornja, 14 bušaći toranj, 15 izvozno vitlo, 16 pogonski motor bušačeg stroja, 17 tlačno crijevo, 18 isplačna pumpa, 19 pogonski motor isplačne pumpe, 20 usisno crijevo, 21 isplačni rezervoar

Tipovi bušilica za istražno bušenje. O potrebnoj dubini bušenja ovisi izbor bušilice, ali je ponekad važna i mogućnost njene primjene u jamskim prostorijama.

Mnogo se upotrebljava stupna bušilica za bušenje u jami tipa *Wolverine Drill* tvrtke Longyear (sl. 6). To je lafetna bušilica koja buši u svim pravcima, uz mogućnost kontinuiranog jezgrovanja. Zavisno od tipa bušačih šipaka, postiže se dubina bušenja od 205...270 m. Prva je domaća bušilica poduzeća Geomašina, za bušenje do 150, odnosno 300 m (sl. 7) opremljena elektromotorom ili Dieselim motorom. Njome se također buši u svim pravcima. Būšilica Hydro 44 tvrtke Longyear (sl. 8) jedna je od najsvremenijih za istražno bušenje. Pogonski agregat ima Dieselov motor snage 101 kW s hidrauličnim prijenosom na pojedine pogonske sklopove (rotacijsku glavu, glavno vitlo, isplačne pumpe, vitlo za

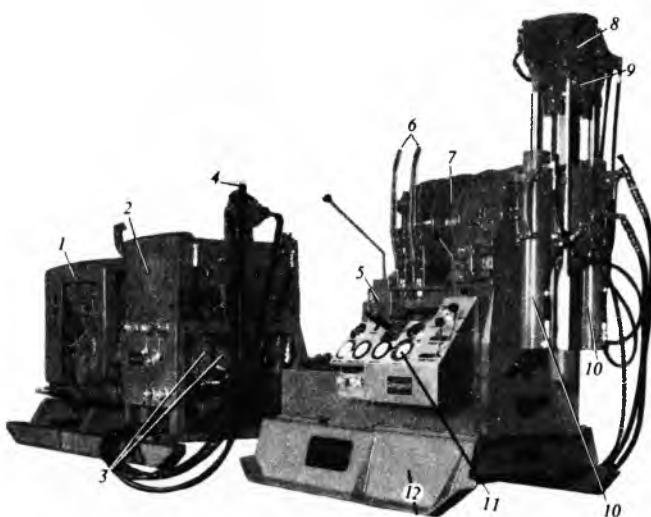


Sl. 6. Stupna bušilica za jamsko istražno bušenje



Sl. 7. Bušilica GRR, proizvod tvornice Geomašina neprekidno jezgrovanje) i za svu operativnu manipulaciju. Maksimalna je vučna snaga vitičnog užeta 7500 kg, s radnim opterećenjem kuke od ~30 t. S bušačim šipkama profila 94 mm bušilica radi do dubine od 670 m, a sa šipkama od 48 mm do 2000 m.

Istražne bušilice često su samohodne i obično su tada opremljene gusjenicama kako bi se mogle kretati i po teškom terenu (sl. 9).



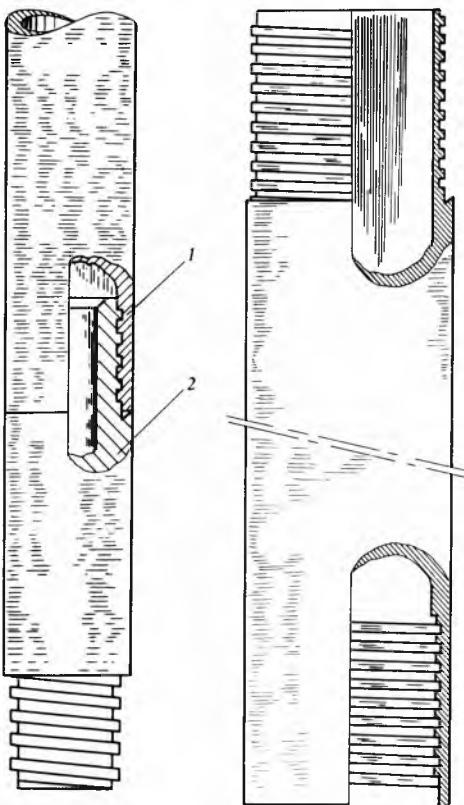
Sl. 8. Bušilica Hydro 44 za bušenje do 2000 m. 1 pogonski Dieselov motor, 2 filterski sustav za hidraulično ulje, 3 pogonske hidrostatske uljne pumpe, 4 hidraulički motor, 5 mjenjač, 6 komanda za pogonsku spojku viti i kočnicu, 7 glavno vito, 8 hidraulička glava za pritezanje bušačih šipki, 9 isplačna glava, 10 hidraulički cilindri za potiskivanje šipki, 11 komandna ploča, 12 saonice



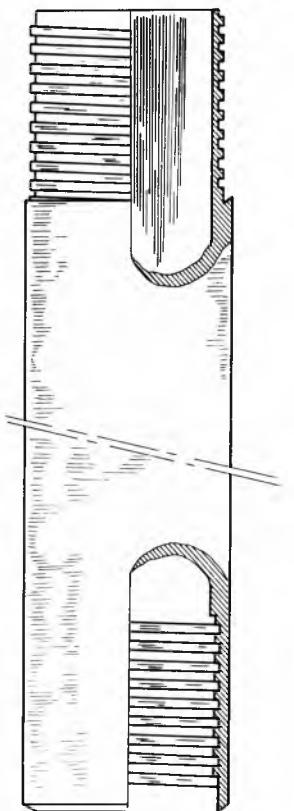
Sl. 9. Samohodna istražna bušilica u radu

Bušače šipke zapravo su osovine za prijenos rotacije i podešavanje radnog tlaka na bušaću krunu. Izrađuju se od visokokvalitetnog čelika koji po Craeliusovim normama treba da ima sljedeće karakteristike: granica razvlačenja 550 N/mm^2 , vlačna čvrstoća 690 N/mm^2 , istezanje min. 13%, Brinellova tvrdoća HB $210\cdots 270$. Na sl. 10 prikazana je bušača šipka sa spojnicom serije promjera $33,5$, 42 i 50 mm . Standardne su duljine $1,5$, $3,0$ i $6,0\text{ m}$, sa ženskim kvadratnim navojem na kraju. Međusobno se spajaju spojnicom kojoj je unutrašnji promjer nešto manji od unutrašnjeg promjera šipke. Bušače šipke američkog standarda DCDMA serije X imaju krajeve s iznutra pojačanim tijelom stijenke, a šipke serije W imaju veći vanjski promjer, što koloni šipaka daje veću stabilnost pri radu i smanjuje vibraciju pa se može raditi s većom brzinom vrtnje krune.

Zaštitne cijevi ugraduju se u bušotinu radi sprečavanja zarušavanja nestabilnih dijelova bušotine, radi sprečavanja



Sl. 10. Bušača šipka. 1 šipka, 2 spojnica



Sl. 11. Zaštitna cijev

mogućih pritoka podzemne vode u bušotinu i sprečavanja gubitaka isplake. To su tankostjene bešavne visokokvalitetne čelične cijevi s karakteristikama bušačih šipaka, koje se međusobno spajaju navojem, izravno cijev u cijev po standardu JUS, a po standardu DCDMA kratkim spojnicama. Slika 11 prikazuje zaštitnu cijev evropskog standarda s muškim i ženskim navojem. Prema standardu JUS unutrašnji je promjer $37,15\cdots 134\text{ mm}$, a vanjski $44,15\cdots 143\text{ mm}$.

Krone za bušenje. Kruna za bušenje ima različitih konstrukcija, od kojih treba navesti nazubljene (zubaste, sa čeličnim zupcima), s ploćicama, odnosno štapićima od tvrdog metal, sačmarice i dijamantne. Tvrdi metal bušačih krune sastoji se od sintetskog wolfram-karbida s dodatkom kobalta (do 14%). Kobalt povećava žilavost na račun tvrdoće, Vickersova tvrdoća iznosi $1200\cdots 1500$, a tlačna čvrstoća 5000 N/mm^2 .

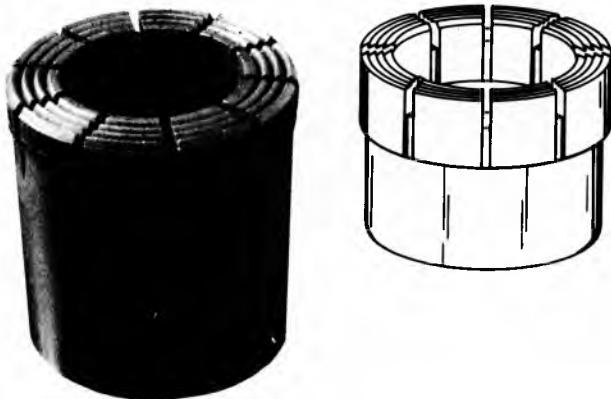
Za bušenje u najtežim prilikama (tvrdim i najtvrdim stijenama) upotrebljavaju se krune s dijamantima. To su cijela ili lomljena kristalna zrnca industrijskih dijamantanata. Ima ih tri vrste: karbon (carbon, carbonado), ballas i bort, a proizvode se i umjetni dijamanti (v. *Drago kamenje, umjetno*, TE 3, str. 393). Karboni su sitnozrnati agregati mrke do crne boje: što im je veća gustoća, to su kvalitetniji. Ballasi su izvanredne čistoće, približavaju se kuglastom obliku, veoma su skupi, pa se zato, a i zbog slabe ponude, rijetko upotrebljavaju. Borti su glavni materijal za bušaće krune. Danas se upotrebljavaju uglavnom dvije vrste borta: kongo i zapadnoafrički. Kongo su zrnca bez vidljive kalavosti, što tim dijamantima daje veću otpornost na udarce nego što je imaju ostali borti. Upotrebljavaju se za krune većeg promjera te ih ima 1-4 komada u karatu, a manji kristali i zdrobljena zrnca za izradbu impregniranih kruna u matrici od tvrdog metal. Zapadnoafrički borti danas su glavni materijal za izradbu dijamantnih kruna zbog svoje velike tvrdoće, podesne veličine kristala, s mnogobrojnim reznim kutovima i relativno niske cijene. Različitih su veličina pa ih ima od nekoliko do stotinjak u karatu.

Osim kruna prikazanih u članku *Bušenje na veliku dubinu* (TE 2, str. 552) razvijene su i krune sa stepenastim oblikom

vijenca (sl. 12) i impregnirane krune (sl. 13). Dijamantne krune sa stepenastim vijencem upotrebljavaju se za bušenje u vrlo tvrdim stijenama. Vijenac impregniranih dijamantnih kruna sastoji se od mješavine sitnih frakcija lomljenih dijamanata od 80–200 komada po karatu i prašine tvrdog metala. Na sl. 13 prikazan je novi tip s tri do četiri radijalna žlijeba na donjoj strani vijenca. Vijenac takve krune jednakno se troši po cijeloj radnoj površini.



Sl. 12. Zrnasta dijamantna stepenasta kruna



Sl. 13. Impregnirane dijamantne krune

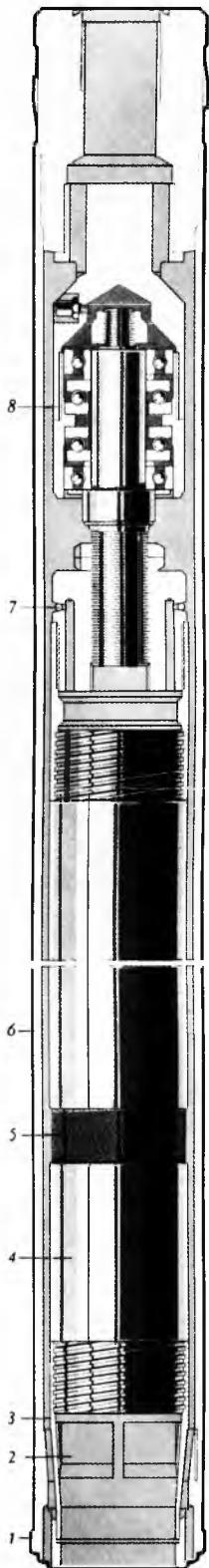
Tablica 1
UTROŠAK DIJAMANATA I UČINAK KRUNE
U ISTRAŽNOM BUŠENJU

Vrsta stijene	Utrošak dijamana karat/m	Učinak krune m/kruni
Bazalt	0,2	10–50
Dijabaz	0,08	30–60
Dolomit	0,03	50–100
Granit	0,2	10–30
Grauvaka	0,3	20–200
Vapnenac	0,05	30–150
Pješčenjak	0,05	30–150
Kvarcit	0,5	3–30

Cistoća isplake od velike je važnosti. Isplaka koja je loše očišćena od pijeska djeluje jako abrazivno na čelični dio krune i matricu, što uzrokuje ispadanje dijamantnih zrnaca iz zrnatih kruna i preveliko trošenje impregniranih kruna.

Prosječni utrošak dijamana u karatima po metru bušenja u stijenama različite čvrstoće i učinak bušenja po kruni navedeni su u tabl. 1.

Pribor za jezgrovanje služi za dobivanje što reprezentativnije jezgre, tj. uzorka stijene kroz koju se buši. Uzorkovanjem se utvrđuje geološka građa u bušotini, mineraloško-petrografska sastav stijene i ostali elementi na osnovi kojih se donosi ocjena o rezultatu bušenja.

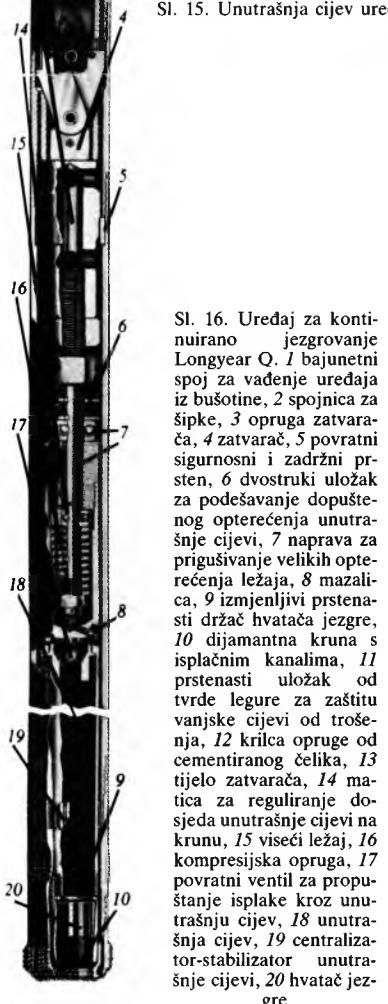


Sl. 14. Dvostruki uredaj za jezgrovanje Craelius T6S s dvodijelnom unutrašnjom cijevi. 1 dijamantna kruna s isplačnim kanalima, 2 kućište hvatača jezgre, 3 kućište hvatača jezgre, 4 dvodijelna unutrašnja cijev, 5 žlijeb za vodostalnu ljepljivu traku, 6 vanjska cijev, 7 povratni ventil, 8 kučićni ležaj s radijalnim i aksijalnim vodenjem

Pravilnikom o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi mineralnih sirovina propisuje se da linijski postotak izvađene jezgre mora iznositi najmanje 75% od svakog duljinskog intervala do 6 m pri bušenju kroz samu korisnu mineralnu sirovinu, a najmanje 65%, zajedno s talogom, pri bušenju kroz jalovi materijal.



Sl. 15. Unutrašnja cijev uređaja Craelius T6S s jezgrom



Sl. 16. Uredaj za kontinuirano jezgrovanje Longyear Q. 1 bajonetni spoj za vađenje uređaja iz bušotine, 2 spojnica za šipke, 3 opruga zatvarača, 4 zatvarač, 5 povratni sigurnosni i zadržni prsten, 6 dvostruki uložak za podešavanje dopuštenog opterećenja unutrašnje cijevi, 7 naprava za prigušivanje velikih opterećenja ležaja, 8 mazalica, 9 izmjenljivi prstenski držać hvatača jezgre, 10 dijamantna kruna s isplaćnim kanalima, 11 prstenski uložak od tvrde legure za zaštitu vanjske cijevi od trošenja, 12 krilica opruge od cementiranog čelika, 13 tijelo zatvarača, 14 matica za reguliranje do-sjeda unutrašnje cijevi na krunu, 15 viseći ležaj, 16 kompresijska opruga, 17 povratni ventil za propuštanje isplake kroz unutrašnju cijev, 18 unutrašnja cijev, 19 centralizator-stabilizator unutrašnje cijevi, 20 hvatač jezgre

Jezgra se dobiva raznovrsnim uređajima za jezgrovanje. Za tvrde kompaktnе stijene upotrebljavaju se jednostruki, a za bušenje u raspucalim naslagama, gdje se jezgra može mehanički oštetiti mlazom isplake i vibracijama, primjenjuju se specijalni dvostruki uređaji. U takvima je dodir jezgre s isplakom minimalan, a unutrašnja cijev s jezgrom ostaje pri rotaciji krune nepomična, dok isplaka prolazi između unutrašnje i vanjske cijevi. Na sl. 14 prikazan je suvremen dvostruki uređaj za jezgrovanje Craelius T6S za bušenje s krunom promjera 66–146 mm, a na sl. 15 unutrašnja cijev s jezgrom izvađenom iz bušotine.

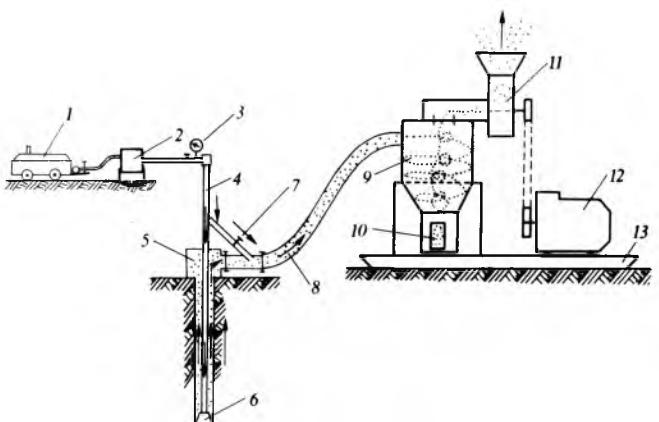
Nekontinuirani rad neizbjegjan je nedostatak standardnog jezgrovanja pri bušenju. Bušenje se odvija u intervalima koji zavise od duljine jezgrene cijevi. Kad jezgra ispuni cijev, pribor se mora izvaditi iz bušotine, jezgra se vadi iz cijevi, pa se pribor sa šipkama opet spušta u buštinu. To se ciklički ponavlja do završetka rada na bušotini.

Nedostatak nekontinuiranog jezgrovanja prevladan je 1947. godine, kada je američka tvrtka Longyear konstruirala aparat za *kontinuirano jezgrovanje*. Suvremena izvedba tog uređaja, serija Q, prikazana je na sl. 16. Upotrebljavaju se specijalne bušače šipke većeg promjera koje se pri vađenju jezgre ne izvlače na površinu. Unutrašnji dio uređaja spušta se prije početka bušenja slobodnim padom, brzinom do ~52 m/min, u unutrašnji dio vanjske cijevi uređaja koji na kraju nosi krunu. Nakon intervala bušenja, koji prema duljini uređaja iznosi najviše 3 m, unutrašnji se dio zajedno s jezgrom vadi iz bušotine specijalnim vitlom pomoću tankoga čeličnog užeta s bajonetnim izvlakačem brzinom od ~35 m/min. Pošto se jezgra izvadi iz uređaja, on se ponovo ubacuje u buštinu i bušenje se nastavlja.

Takvim postupkom postiže se velika ušteda, osobito u dubljim buštinama, u usporedbi s konvencionalnim načinom bušenja gdje se nakon svakog intervala bušenja šipke moraju vaditi i ponovno spuštati.

Bušenje komprimiranim zrakom druga je mogućnost kontinuiranog bušenja bez jezgrovanja, iako je primjena tog postupka ograničena. On se rabi kada su geološke prilike poznate bar toliko da njihovo detaljnije upoznavanje jezgrovanjem nije potrebno, a bušenje služi za lociranje ležića mineralne sirovine. Tipičan je primjer istražno bušenje u istraživanju *boksita* u krškim terenima, gdje je i nestaćica vode dodatni razlog za primjenu tog postupka. I u čvrstim pukotinskim stijenama, gdje je bušenje otežano gubitkom isplake, buši se ispuhivanjem, što je drugi naziv za taj postupak.

Bušenje komprimiranim zrakom prvi put je primijenjeno za izradbu dubljih minskih bušotina 1932. na površinskim kopovima u SAD. Postrojenje kakvo se danas upotrebljava prikazano je na sl. 17.



Sl. 17. Postrojenje za istražno bušenje komprimiranim zrakom (shematski). 1 kompresor, 2 kondenzator, 3 manometar, 4 bušače šipke, 5 preventer, 6 kruna, 7 zračni odvodnjak za ispuh, 8 odvodna cijev za ispuh, 9 ciklon za odvajanje uzoraka, 10 otvor za uzimanje uzoraka, 11 ventilator, 12 pogonski motor, 13 postolje

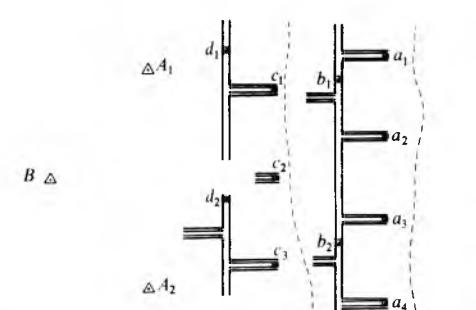
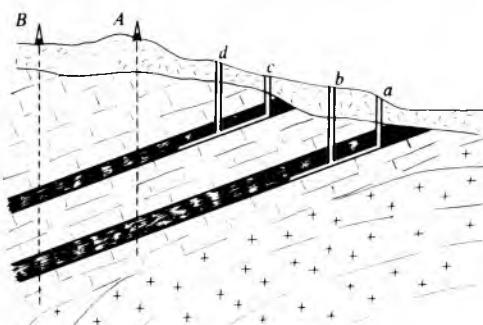
Od kompresora zrak prolazi kroz kondenzator-rezervoar, gdje se čisti od vode i ulja, a osim toga kondenzator služi i za naglo, udarno ispuhanje bušotine kada je to potrebno. Preko komandne ploče, s manipulacijskom slavinom i manometrom, zrak prolazi armiranim gumenim crijevom i preko glave za ispiranje i bušačih šipaka, specijalnom sapnicom, dolazi u krunu. Sapnicom se omogućuje naglo smanjenje zračnog tlaka, pa se tako hlađi pribor za bušenje. Komprimirani zrak podiže krhotine stijena s dna bušotine i transportira ih po prstenastom prostoru između bušačih šipki i stijenki bušotine prema ušću bušotine. Preventerom na ušću bušotine usmjerava se zrak s krhotinama preko odvojka za ispuh kroz odvodnu cijev u ciklon, gdje krhotine kao teža frakcija padaju u komoru, a fina frakcija, prah, preko usisnog ventilatora odlazi u atmosferu. Kroz kontrolni prozorčić povremeno se vade uzorci.

Takvim se postupkom mogu postići dubine do 100 m i više uz primjenu bušačih šipki promjera 50–100 mm. Pri bušenju u čvrstim vaspencima može se pri tom ostvariti brzina kontinuiranog bušenja od 13–14 m/h. Primjenom specijalnih jezgrenih uređaja s prstenastim krunama mogu se dobiti i obične jezgre. Uz dodatak malih količina pjenastih detergagenta bilo je i uspjeha s bušenjem u buštinama s manjim pritokom vode.

Projektiranje istražnog bušenja

Projektiranje istražnog bušenja uvjetovano je morfološkim i genetskim karakteristikama ležišta i stupnjem njihove geološke i rudarske istraženosti. To se uzima u obzir i u Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji čvrstih mineralnih sirovina, gdje su za svaku mineralnu sirovinu po grupama ležišta utvrđene vrste istražnih radova i maksimalne udaljenosti između njih.

Istraživanja radi utvrđivanja rezervi mineralnih sirovina najčešće obuhvaćaju kombinaciju rudarskih istražnih radova, kojima se rudno tijelo prati u jednom ili u više smjerova, i istražnog bušenja, kojim se rudno tijelo utvrđuje samo na pojedinim točkama. Za proračunavanje rezervi postoje metode kojima je položaj bušotine unaprijed određen, a primjena određene metode zavisi od tipa i položaja ležišta u tlu. To su metode aritmetičke sredine, geoloških blokova, trokuta, poligona, izolinija, izohipsa, i statičke metode. Već



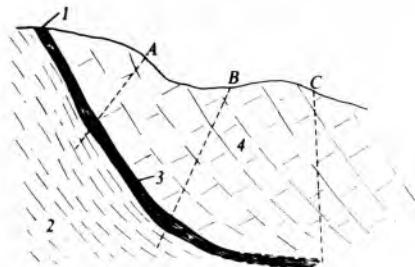
Sl. 18. Raspored bušotina pri istraživanju slojnih ležišta s malim nagibom. a, b, c, d istražna plitka okna međusobno povezana hodnicima i niskopima; A₁ i A₂ plice bušotine, B dubla bušotina

pri projektiranju treba uzeti u obzir kasniju upotrebu rezultata istražnih radova za proračun rezervi nekom od navedenih metoda.

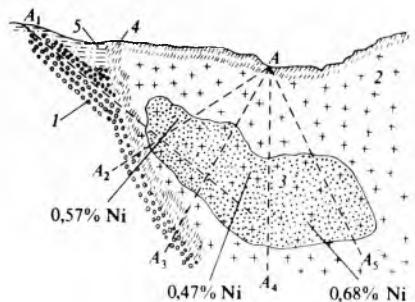
Postoji nekoliko osnovnih sustava za projektiranje istražnih radova, pa tako i istražnog bušenja, i to prema mreži bušotina (kvadratna, pravokutna ili rompska), prema rasporedu bušotina s obzirom na pružanje i nagib slojeva i na smjer izjame.

Slojna ležišta s malim nagibom (sl. 18) istražuju se u pličim dijelovima ležišta rudarskim radovima (pličim okнима, niskopima i hodnicima po pružanju slojeva), a duboki se dijelovi istražuju buštinama i po pružanju i po nagibu slojeva na većim međusobnim razmacima radi omeđivanja ležišta.

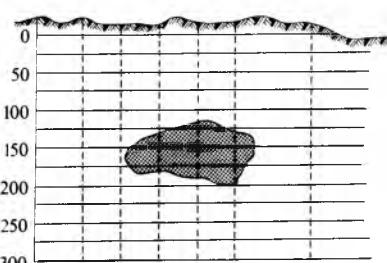
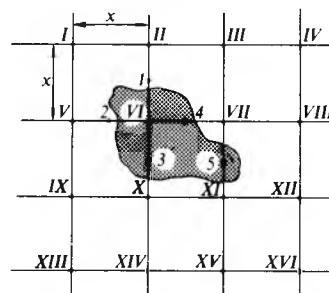
Istraživanje slojeva sa strmim nagibom (sl. 19). Prve bušotine serije A lociraju se na osnovi podataka o izdanku



Sl. 19. Istraživanje ležišta sa strmim slojevima. A, B i C bušotine; 1 izdanak sloja, 2 podina, 3 sloj, 4 krovina



Sl. 20. Istraživanje ležišta s rudnom impregnacijom. A₁, A₂, A₃, A₄ i A₅ bušotine; 1 norit, 2 periodit sa sirošašnom impregnacijom, 3 periodit sa bogatom impregnacijom, 4 periodit bez rude, 5 olivin-norit



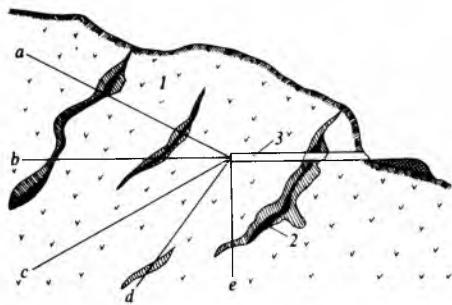
Sl. 21. Istraživanje ležišta u obliku štoka. I, II, III, ..., bušotine glavne mreže, 1, 2, 3, ..., bušotine interpolirane mreže

ležišta, paralelno s pružanjem slojeva, i to koso, kako bi presjekle gornje partiye sloja. Bušotine serije *B*, za istraživanje dubljih dijelova, usmjerene su strmije i manje su brojne. Bušotine serije *C* idu gotovo vertikalno u najveću dubinu, već prema rezultatima bušotina serije *A* i *B*.

Ležišta s rudnom impregnacijom (sl. 20). Zbog malog sadržaja metala ležišta su ekonomična samo ako imaju veće dimenzije. Zbog toga je istraživanje podzemnim radovima spesoro i preskupo, pa se takva ležišta istražuju bušenjem. Na sl. 20 prikazano je lepezasto bušenje koje se primjenjuje kad konfiguracija terena ne dopušta transport opreme za bušenje. Ako je takav transport moguć, bušotine se lociraju u pravilnoj mreži ili kombinirano.

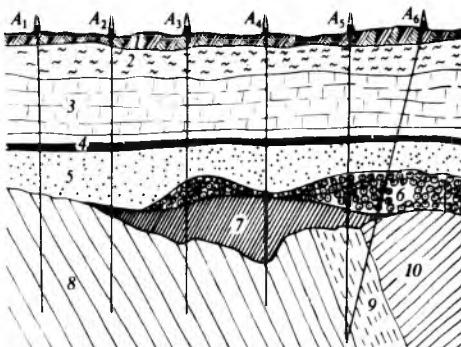
Istraživanje ležišta izometrijskog oblika (štok, gnijezdo) (sl. 21). To su ležišta manje-više podjednako razvijena u tri glavna smjera. Zato se bušotine lociraju u kvadratnoj ili rompskoj mreži na osnovi rezultata geoloških i geofizičkih istraživanja, uz naknadno zgušnjivanje mreže radi omeđivanja rudnog tijela. Bušenjem u kvadratnoj mreži sa stranicom *x*, koja ovisi o vrsti mineralne sirovine, bit će pronađeno svako ekonomski interesantno rudno tijelo. Nakon što je bušotina *VI* bila pozitivna, na principu polovične interpolacije lociraju se bušotine *1, 2, 3, 4 i 5*. Tako se dobiva prostorno omeđenje rudnog tijela s točnošću *x/2* koja se ponovnom interpolacijom može povećati na *x/4*.

Žilna ležišta, koja obično imaju nepravilan oblik, tektonski su poremećena i neravnomjerno orudnjena (npr. žile zlata, rijetkih metala, pegmatita, olovno-cinkove rude, antimona, bakra i dr.), istražuju se kombinacijom bušenja i rudarskih istražnih radova (sl. 22). Istražnim se bušenjima usmjeravaju rudarski radovi kojima se žile istražuju u različitim pravcima.



Sl. 22. Istraživanje žilnih ležišta. *a, b, c, d i e* bušotine; 1 granit, 2 žile zlatonošnog kvarca, 3 potkop

Istraživanje ležišta željeznih ruda. Nakon geofizičkog istraživanja magnetskom metodom grubo se određuju granice rudnog tijela i započinje detaljno istraživanje bušenjem pomoću više-manje ravnomjerne mreže bušotina, s međusobnom udaljenošću bušotina od 100...200 m. Kasnije se, po potrebi, interpoliraju dalje bušotine, prema rezultatima pret-hodnih, na razmaku do 25 m (sl. 23).

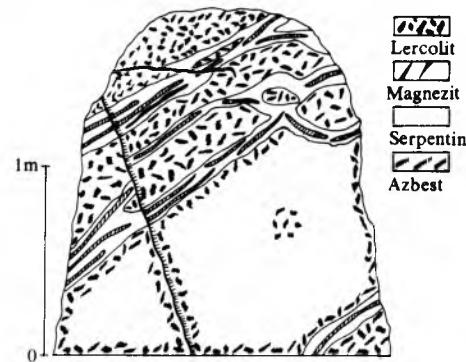


Sl. 23. Istraživanje kontaktnih i magmatskih ležišta željeza. *A₁...A₆* bušotine; 1 nanos, 2 glina, 3 laporci, 4 fosforna naslaga, 5 pijesak, 6 jurška glina, 7 željezna ruda, 8 željezni kvarciti, 9 amfibolitni skriljavci, 10 sericit-biotitni škriljavci

Dokumentacija istražnih radova

Dokumentacija o rezultatima istražnih radova vrlo je važna za projektiranje rudarskih objekata i za njihovu eksploraciju već i zato što istražni radovi neprekidno prate proizvodnju.

Svako promatranje na terenu obilježava se na topografskoj karti u mjerilu 1:25 000 točkom s rednim brojem. Točnost nanošenja ne bi trebala biti manja od 1 mm, a određuje se geološkim kompasom metodom presjeka dviju linija ili polarnom metodom pomoću magnetskog azimuta i optičkim mjerjenjem udaljenosti. Novi objekti i putovi unose se krokaranjem pomoću kompasnog poligona. Pri nanošenju podataka na kartu treba korigirati magnetski azimut jer meridiani na topografskoj karti imaju pravac astronomskog azimuta. Sva važna terenska opažanja dokumentiraju se brojem, crtežom i, po potrebi, fotografijom. Čelo radilišta raskopa i bočnih strana jaraka, okana, potkopa i hodnika prikazuje se skiciranjem, obično u mjerilu 1:20, s detaljnim ucrtavanjem svih podataka o sastavu korisne sirovine i bočnih stijena, o pukotinama i rasjedima te mjestima uzorkovanja.

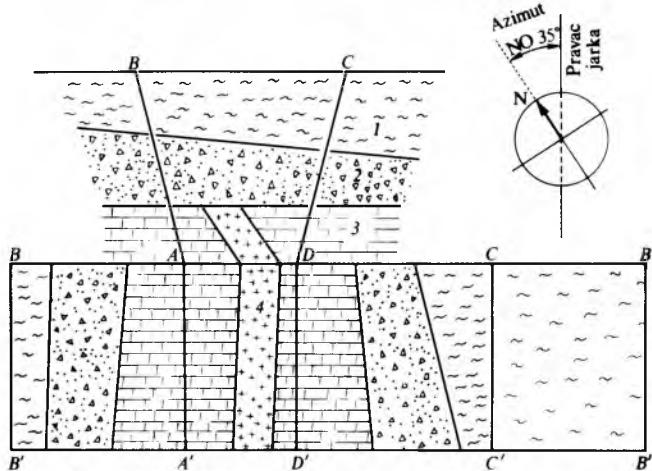


Sl. 24. Skica čela radilišta u dokumentaciji

Na sl. 24 vidi se primjer dokumentacije za *čelo radilišta* jednog od *izdanaka*. Izdanak treba što bolje očistiti od zarušenih stijena i tako ga pripremiti za snimanje. Crtati treba u mjerilu da se može jasno uočiti međusoban položaj pojedinih pojava. Zato na crtež treba ucrtati mjerilo. Uz crtež se upisuje opširna legenda. Sva se premjeravanja obavljaju prije postavljanja podgrade, koja može sakriti važne pojedinitosti.

Na sl. 25 vidi se skica za dokumentaciju *istražnog jarka*, a na sl. 26 za *istražno okno*.

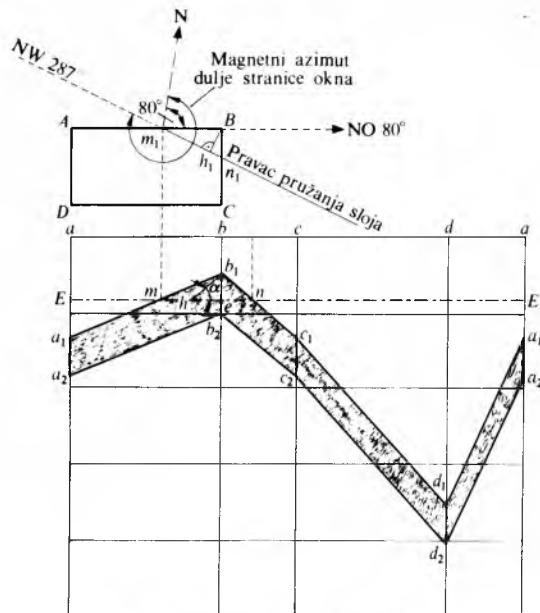
Poznajući orientaciju stranâ okna, njihova magnetskog azimuta, potrebno je na otkrivenom platu okna, na kojem je položaj slojeva snimljen, grafičkom konstrukcijom utvrditi njihovo pružanje i nagib (sl. 26). Na skici se ucrtava vodoravna linija *EE* koja siječe tragove sloja u točkama *m* i



Sl. 25. Istražni jarak u dokumentaciji. 1 glina, 2 drobina, 3 vapnenac, 4 rudna žila

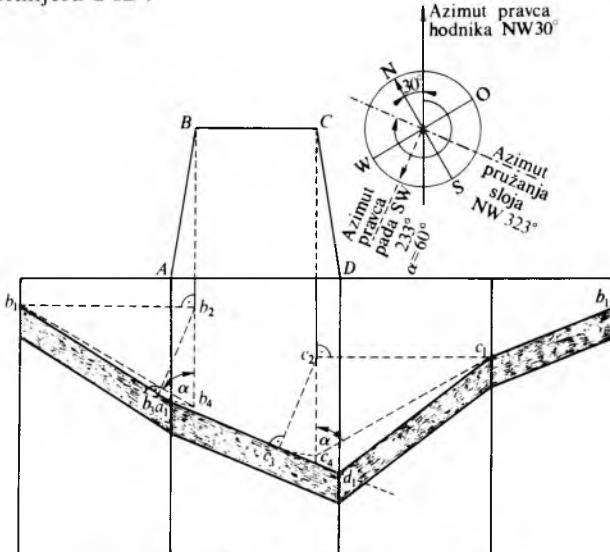
n. Ta se sjecišta prenose na vodoravni presjek okna $ABCD$ ($me = m_1 B$ i $en = Bn_1$), pa će linija $m_1 n_1$ biti smjer pružanja sloja koji se mjeri kutomjerom. Kako azimut dulje stranice AB na slici iznosi NO 80° , smjer će pružanja presječenog sloja iznositi NW 287° .

Za određivanje smjera i kuta nagiba sloja ucrtava se iz točke B linija Bh_1 okomita na liniju pružanja m_1n_1 . Duljinu Bh_1 prenosi se po liniji EE od točke e prema m tako da je $he = Bh_1$. Kut $b_1he (\alpha)$ kut je nagiba sloja s padom prema N i iznosi $N 44^\circ$.



Sl. 26. Istražno okno u dokumentaciji

Na sl. 27 skicirana je dokumentacija za istražni hodnik. Nakon orijentacije smjera izrade hodnika ($NO 30^\circ$) utvrđuje se azimut pružanja sloja koji je hodnikom presječen. Taj se smjer podudara s vodoravnim tragom sloja po podini hodnika (linija a_1d_1 , azimut NW 323°). Smjer nagiba sloja vidi se iz traga sloja na bočnim stranama (linije b_1a_1 i d_1c_1). Sloj pada prema jugu. Kut nagiba sloja dobiva se grafičkom konstrukcijom. Iz točke b_1 (c_1) ucrtava se okomito na dulju stranu hodnika linija b_1b_2 (c_2c_1), a iz točke b_2 (c_2) crti se okomito na trag sloja a_1b_1 linija b_2b_3 (c_2c_3). Njena dužina prenosi se od točke b_2 (c_2) u smjeru dulje strane hodnika, linija b_2b_4 (c_2c_4). Ta točka b_2 (c_2) spaja se s točkom b_1 (c_1). Kut nagiba sloja predstavlja kut $b_2b_3b_1$ ($c_2c_4c_1$) i iznosi u prikazanom primjeru $S 62^\circ$.



Sl. 27. Istražni hodnik u dokumentaciji

Dokumentacija istražnog bušenja. Ušće svake bušotine označuje se na topografskoj karti grafički, a na terenu repernom betonskom pločom s oznakom bušotine. Pismena dokumentacija sastoji se bar od dva dnevnika: dnevnika bušenja i dnevnika jezgre. Dnevnik bušenja vodi se na propisanom obrascu po radnim smjenama. U dnevnik jezgre, osim oznake bušotine i datuma, unose se podaci o dubinskom intervalu bušenja, duljini dobivene jezgre s postotkom prema intervalu bušenja i o tipu krune, te geološko-mineraloška interpretacija jezgre po parcijalnom sastavu. Dobivena jezgra slaže se u sanduke s pregradama.

LIT.: *B. Обручов*, Полевая геология. Научно-техническое изд., Москва 1932. — *I. Cumming*, Diamond Drill Handbook. Hunter Rose Co., Toronto 1956. — *B. Смирнов*, Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Недра, Москва 1957. *S. Janković*, Opravljavanje i proračun mineralnih sirovina. Zavod za geološka i geofizička istraživanja, Beograd 1959. — *M. Kobiška*, Opšti rudarski radovi. Građevinska knjiga, Beograd 1973. — *V. Rizen*, Tehnika bušenja, skripta za stručno obrazovanje bušača. Geološki zavod, Ljubljana 1975. — *M. Dimitrijević*, Geološko kartiranje. Izdavačko-informativni centar studenata, Beograd 1978.

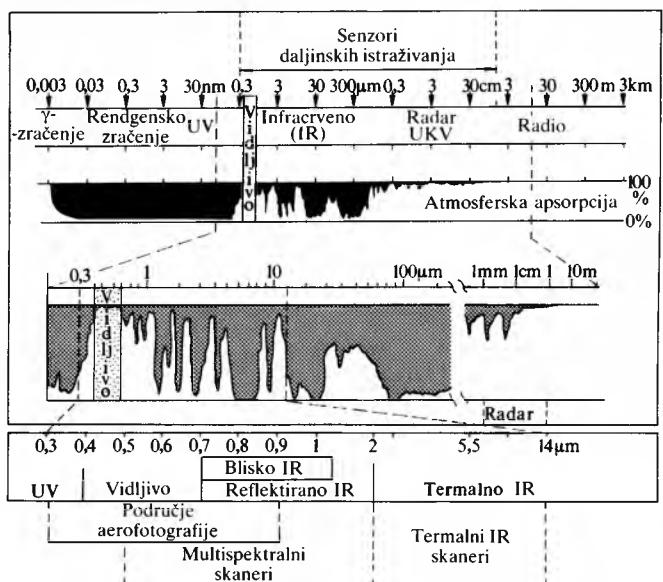
R. Marušić V. Rizen

DALJINSKO ISTRAŽIVANJE

Daljinsko istraživanje (daljinska detekcija) skup je istražnih metoda za prikupljanje podataka kad se istraživač ne nalazi u neposrednom kontaktu s objektom istraživanja. Te su metode u rudarstvu i geologiji usmjerenе na otkrivanje mineralnih i energetskih sirovina te na bolju organizaciju pridobivanja i očuvanja već poznatih sirovina. U širem smislu, daljinsko istraživanje podrazumijeva fotografiranje Zemljine površine iz zraka, otkrivanje i bilježenje, posebnim senzorima, zračenja što ih odasila površina Zemlje, supstancije ispod njezine površine ili objekti na njoj, te interpretaciju tako dobivenih podataka. U rudarstvu se za daljinsku istraživanja iskorištava elektromagnetsko zračenje koje se reflektira od Zemljine površine ili ga ona emitira u području valnih duljina od $0,3 \mu\text{m}$ (ultraljubičasto područje) do $3,0 \text{ m}$ (mikrovalovi).

Razvoj tih metoda počinje s pojmom prve fotografije (1839). Pokušaji upotrebe fotografije u kartografiji započinju 1841. godine, a 1858. načinjene su prve zračne snimke iz balona, a zatim su upotrebljavani papirni zmajevi za nošenje kamera. J. Neubronner 1909. konstruirala malu (6×9 cm) panoramsku kameru i stereokameru te snima uz pomoć golubova pismosno, a iste godine W. Wright u Italiji ostvaruje prvo zabilježeno snimanje iz aviona. Aerofotokamere konstruirane za snimanje iz zraka počele su se proizvoditi 1915. u Velikoj Britaniji i od tada se upotrebljavaju u vojne svrhe u toku prvoga svjetskog rata. U razdoblju između dva rata, a posebno u toku drugoga svjetskog rata, tehnika zračnih snimanja naglo se razvijala, a potkraj šezdesetih godina ovog stoljeća počinje primjena zračnih snimaka u bojama i u infracrvenoj tehnici. U geoznanosti zračne se snimke počinju upotrebljavati odmah nakon drugoga svjetskog rata.

Prvi fotomozaik grada Zagreba izrađen je 1930., a prvi jugoslavenski udžbenik iz područja fotogeologije objavio je M. Dimitrijević 1958. Od 1961. fotogeologija postaje sastavni dio osnovnih geoloških istraživanja.



Sl. 1. Karakteristike elektromagnetskog spektra u daljinskom istraživanju

S lansiranjem prvih umjetnih Zemljinih satelita (v. *Satelići, umjetni*) daljinsko istraživanje dobiva novu dimenziju. Prva sustavna promatranja Zemlje počinju 1960. iz meteorološkog satelita *Tiros 1*. Fotografije načinjene automatskom kamerom iz satelita *Mercury (MA-4)* poslužile su za izradbu geoloških skica Sahare i inicirale prvi orbitalni geološki istraživački program. Taj se program ostvaruje iz satelita *MA-8* i *MA-9*, stečena znanja potiču dalje programe, kao što je i projekt *E.R.T.S.* (*Earth Resources Technology Satellite*), koji je kasnije dobio naziv *LANDSAT*. Lansiranje satelita *ERTS-1* (1972) jedan je od prijelomnih datuma u povijesti snimanja Zemljine površine iz zraka. Snimke multispektralnim skanerskim sustavom otvorile su nove perspektive u kvalitativnom i kvantitativnom pogledu. Do danas je lansirano više satelita za snimanje Zemljine površine (SAD, SSSR, Francuska i dr.). Snimanja se obavljaju i iz svemirske letjelice tipa *SHUTTLE*.

Princip daljinskih istraživanja zasniva se na činjenici da svako tijelo na temperaturi iznad apsolutne nule odašilja elektromagnetske valove. Fotokamere i specijalni senzori registriraju valove iz onog dijela elektromagnetskog spektra (sl. 1) za koji su podešeni.

Aerosnimanje je konvencionalan način fotografskog registriranja pojava na Zemljinoj površini (v. *Fotogrametrija*, TE 5, str. 583). To najstarije i najrasprostranjenije registriranje zračenja koristi se vidljivim dijelom spektra ($0,4\cdots0,7 \mu\text{m}$) i susjednim dijelom infracrvenog područja ($0,7\cdots0,9 \mu\text{m}$). Snime se posebnim kamerama pretežno formata $23 \times 23 \text{ cm}$ i s kasetama s filmom duljine do 120 m. Postoje vertikalne i kose aerosnimke, ali su najčešće vertikalne snimke pomoću automatskih kamera, i to pojedinačno i u serijama. Te se serijske snimke preklapaju u smjeru leta za $60\cdots90\%$, a sa susjednim nizom snimaka za $20\cdots30\%$. Kada se parovi takvih snimaka promatraju stereoskopski, dobiva se prostorna slika snimljenog objekta (stereomodel). Od stereoskopskih snimaka mogu se izraditi fotoskice, fotoplanovi, topografske i druge karte. Postoje i specijalne kamere za panoramska snimanja i multispektralne kamere.

Kao rezultat različitih tehnika fotografskog snimanja Zemljine površine mogu se dobiti pankromatske crno-bijele snimke, aerosnimke u bojama, infracrvene crno-bijele aerosnimke i pseudokolorne snimke.

Pankromatske crno-bijele snimke ($0,37\cdots0,68 \mu\text{m}$) jednostravna su i pouzdana podloga za različite istraživačke discipline. Fotointerpretacija te vrste snimaka zasniva se na razlučivanju sivih tonova i interpretaciji njihova značenja. Pankromatske se aerosnimke upotrebljavaju u prostornom planiranju, a njihova je interpretacija obvezatan dio istraživačkog postupka pri izradbi listova Osnovne geološke karte SFRJ. U istraživanju mineralnih sirovina pankromatske su aerosnimke temelj za interpretaciju tektonsko-strukturalnih odnosa.

Aerosnimke u bojama ($0,40\cdots0,70 \mu\text{m}$) registriraju pojave i objekte na Zemljinoj površini u prirodnim bojama uz neka manja odstupanja. Fotogeološka analiza takvih snimaka omogućuje razlikovanje litoloških karakteristika, položaj naslage te intenzivnost i orijentaciju tektonskih poremećaja. U nas se ta metoda primjenjuje od 1972. godine.

Infracrvene crno-bijele aerosnimke ($0,50\cdots0,90 \mu\text{m}$). Razvoj fotografске tehnologije omogućio je proizvodnju filmova s takvim emulzijama koje su osjetljive i na onaj dio elektromagnetskog spektra koji ljudsko oko ne može registriрати (bliži infracrveni dio). Takvi filmovi registriraju raspon sivih tonova od bijelog do crnog s mnogo prijelaza. Za razliku od pankromatskih snimaka, infracrvene crno-bijele snimke tim rasponom sivih tonova ne prikazuju pravo stanje u prirodi, nego se moraju interpretirati prema utvrđenom ključu. Tako je, npr., vegetacija svijetlosiva zbog utjecaja klorofila (na pankromatskim snimkama tamnosiva), vodene su površine tamnosive (na pankromatskim svijetlosive) i sl. Povećana vlažnost tla daje tamnije tonove, a površine s povećanim temperaturnim gradijentom imaju svjetlijii ton na filmu. Ti se efekti mogu iskoristiti u hidrogeološkim i geotermičkim istraživanjima te u izdvajaju zonu povećane sulfidne mineralizacije.

Pseudokolorne snimke (infracrvene u bojama $0,50$ do $0,90 \mu\text{m}$) daju boje koje se razlikuju od prirodnih (vegetacija je, npr., crvena), boje su intenzivne i s oštrim prijelazima, što interpretatoru omogućuju odvajanje pojedinih objekata i dešifriranje značenja pojedinih prijelaza unutar iste boje.

Upotrebljavaju se najviše u šumarskim i poljoprivrednim istraživanjima, ali se uspješno mogu primjenjivati i u geološko-rudarskim istražnim radovima. Njima se mogu registrirati tektonski elementi, jače izražene hidrotermalno izmijenjene i oksidacijske zone, istraživati pojave boksita u krškim terenima i hidrogeološke pojave. U Jugoslaviji se primjenjuju od 1973. godine.

Orbitalne snimke. Najveći doprinos istraživanju mineralnih sirovina dali su sateliti serije *LANDSAT*. Imaju polarnu orbitu s visinama 705 km (*LANDSAT 4* i *5*) i 914 km (*LANDSAT 1, 2 i 3*). Za obilazak oko Zemlje trebaju im 103 min , pa obilaze Zemlju 14 puta dnevno. Svakim sljedećim obilaskom prekriva se prethodni niz snimaka od $\sim 60\%$ (područje Aljaske) do $\sim 14\%$ (područje ekvatora). Za 18 dana takav satelit snimi cijelu površinu Zemlje, tj. nakon toga vremenskog razdoblja satelit se nanovo nalazi nad istom točkom na Zemlji.

Prva dva satelita te serije bila su opremljena televizijskim kamerama fokusiranim tako da snimaju površinu od $185 \times 185 \text{ km}$ na Zemlji, s uzdužnim preklopom svake sljedeće snimke od 10% na projekciji satelitske putanje. Osim toga, sateliti su bili opremljeni multispektralnim skanerskim (pretražnim) sustavom koji radi na principu linjske skanerske detekcije. Imaju oscilirajuće zrcalo i sustav prizama da bi se na magnetnoj vrpcu zabilježile spektralne karakteristike, emitirano zračenje Zemljine površine. Simultanim skaniranjem terena iznad kojeg se satelit nalazi sustav daje sinkrone snimke površine Zemlje.

Podaci snimljeni na magnetnu vrpcu emitiraju se iz satelita i primaju se u 12 stanica na Zemlji (SAD, Kanada, Brazil, Argentina, Švedska, Španjolska, Italija, Južnoafrička Republika, Indija, Kina, Japan, Australija). U stanicama se podaci snimaju na CCT-vrpu (Computer Compatible Tape) iz koje se zatim mogu načiniti snimke direktno ili prethodnom obradom na elektroničkom računalu.

LANDSAT 3, 4 i 5 imaju nešto drukčiju televizijsku i skanersku opremu. Snimaju paralelna područja veličine $98 \times 98 \text{ km}$, odnosno četiri puta manju površinu od prethodnih satelita istog tipa, ali se snimke preklapaju i mogu se promatrati stereoskopski.

Orbitalne snimke pokrivaju velike površine, a distribuiraju se kao standardni fotoproizvodi u konvencionalnim mjerilima $1:1000000$, $1:500000$ i $1:250000$. Automatskom obradom CCT-vrpca na elektroničkom računalu mogu se dobiti i veća mjerila (do $1:100000$) ako je potrebna detaljnja interpretacija nekog terena.

Kombiniranjem različitih kanala (valnih duljina u rasponu spektra što ih senzori registriraju) pomoću elektroničkog računala, mogu se dobiti specijalizirane informacije za geološka i rudarska istraživanja (kompozitne snimke, Thematic Mapper).

Snimke *LANDSAT-a* mogu se naručiti od EOSAT Co. u Marylandu (SAD) ili od ESRIN u Frascatiju (Italija) za područje Jugoslavije.

U Jugoslaviji se satelitske snimke upotrebljavaju u geološko-rudarskim istraživanjima od 1973. godine, a u novije doba sve više i u drugim znanstveno-stručnim disciplinama. Osnovna je prednost orbitalnih snimaka prema aerosnimkama njihova izvanredna preglednost. Usporedna analiza snimaka istog područja snimljenih istodobno u različitim dijelovima spektra i snimaka istog područja i istog spektralnog dijela, ali snimljenih u različitim vremenskim razdobljima, daje široke mogućnosti interpretacije. Geološka analiza orbitalne snimke otkriva položaj istraživanog područja u regionalnom sklopu terena. Mogu se identificirati regionalni lineamenti i strukturalni oblici, pratiti njihova aktivnost u vremenu i utvrditi njihov utjecaj na formiranje ležišta mineralnih sirovina. Orbitalne snimke posebno su važne kao podloga za otkrivanje prstenskih struktura kao područja magmatske i tektonske aktivnosti (npr. u timočkom eruptivnom masivu). Suvremena digitalna obrada CCT-vrpca proširuje mogućnosti upotrebe orbitalnih snimaka na direktna otkrivanja orudnjениh područja i zona.

Orbitalne snimke sve više služe i za istraživanje energetskih sirovina (nafta, plina i urana). Orbitalnim snimkama povećava se količina i opseg podataka, skraćuje vrijeme terenskih radova na kartiranju, smanjuje potrebno tehničko osoblje, ubrzava postupak i olakšava planiranje drugih istražnih metoda, što sve smanjuje troškove. Na sl. 2 vidi se orbitalna snimka iz satelita LANDSAT područja Istre i Kvarnerskog zaljeva.

polariziranim svjetlu i prenosi podatke na dva televizijska monitora.

Rezultati snimanja infracrvenim skanerskim sustavom mogu se upotrebljavati u svakoj znanstvenoj grani jer veoma fine temperaturne razlike daju podatke koji se inače mogu dobiti samo dugotrajnim terenskim radovima i mjeranjima.

U istraživanju mineralnih sirovina primjena tog sustava zasniva se na činjenici da različite vrste stijena različito



Sl. 2. Orbitalna snimka Istre i Kvarnerskog zaljeva

Multispektralni skaneri. Već nekoliko godina primjenjuje se u daljinskim istraživanjima, kao jedna od najsvremenijih metoda, aerosnimanje termalnim i multispektralnim infracrvenim skanerom, instrumentom koji djeluje na temelju detekcije širokog raspona elektromagnetskog spektra, što uključuje i njegov za ljudsko oko nevidljiv dio (koji emitiraju površinske naslage). Skaner registriira temperaturne razlike na površini tla ili vode s točnošću do $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, te spektralne karakteristike pojedinih vrsta stijena i tla. To omogućuje detaljnu toplinsku detekciju relativnih temperatura u površinskim naslagama koje su odraz prirodnih dubinskih procesa (tektonsko-strukturalnih odnosa) na površinskim dijelovima (npr. kretanja hladnih i toplih podzemnih voda). Multispektralni dio skanera sa 11 kanala u rasponu od $0,38\cdots1,1\text{ }\mu\text{m}$ može razlučiti dovoljno spektralnih razlika na površini Zemlje koje omogućuju litološka i pedološka raščlanjivanja (za tematska kartiranja) svih dijelova istraživane površine na kojoj se nalazi određeni tip zemljišta ili neka važna litološka jedinica. U satelite serije LANDSAT ugrađeni su skaneri s mogućnošću registriranja 7 valnih duljina (kanala) u rasponu $0,38\cdots12,5\text{ }\mu\text{m}$ elektromagnetskog spektra.

Podaci o intenzivnosti emisije s površine Zemlje snimaju se u obliku elektronskih impulsa na magnetnu traku, a zatim se u laboratoriju procesiraju i pretvaraju u vizualni oblik, odnosno crno-bijeli filmski negativ. Gradacije sivih tonova na toj filmskoj traci ili termogramu prikazuju temperaturne odnose na snimljenom terenu i završni su dokument što ga skaner daje. On se, međutim, tako ne može neposredno iskoristiti pa se od njega izrađuju fotografске crno-bijele kontaktne kopije ili se elektroničkim denzitometrom izrađuju dokumentacijske snimke u kolor-tehnici. Elektronički denzitometar ili analizator slike zatvoren je televizijski sustav s vlastitom kamerom koja promatra filmski termogram u

reflektiraju i emitiraju elektromagnetska zračenja valnih duljina od $0,4\cdots14\text{ }\mu\text{m}$, a većinom valne duljine veće od $1\text{ }\mu\text{m}$. Infracrveno područje zračenja s valnim duljinama od $8\cdots14\text{ }\mu\text{m}$ sadrži još više podataka o sastavu stijena, osobito silikatnih. Minimalne temperaturne razlike na površini zemljišta ispod kojeg se nalaze oksidacijske zone (koje indiciraju moguće orudnjenje) mogu se veoma dobro registrirati senzorima skanerskog sustava.

Temperaturne razlike na površini Zemlje najčešće su uvjetovane strukturom podzemlja. Tako, razlike u vlažnosti površinskih dijelova, koje su istodobno i razlike u temperaturi, odražavaju hidrološku situaciju i na površini i u pripovršinskim dijelovima (npr. utjecaj podzemnih voda). Tako se mogu prati tektonski elementi i strukturni oblici na pokrivenim i



Sl. 3. Topolinska skanerska snimka rudonosnog područja Krivelj kod Bora

otkrivenim terenima (npr. na drenažnim sustavima podzemnih voda), što je veoma koristan dopunski podatak u svim geološkim radovima. U hidrogeološkim i geotermičkim istraživanjima ta je metoda i izravno primjenljiva.

U Jugoslaviji se ta tehnologija primjenjuje od 1974., u prvom redu za istraživanje mineralnih i energetskih sirovina (u timočkom masivu, Makedoniji, na Kosovu i Jadranu) te za utvrđivanje toplinskih gubitaka i za ekološka proučavanja. Slika 3 prikazuje toplinsku skanersku snimku rudnog područja Krivelj kod Bora (nijanse sivih tonova prikazuju temperaturne razlike).

Radari (v. *Elektronika, Radarski sustavi*, TE 4, str. 696). Za razliku od opisanih *pasivnih* sustava za daljinska istraživanja, radarski instrumentarij, ugrađen na bočnoj strani aviona, odašilje vlastito zračenje prema površini Zemlje i zatim ga reflektiranog registrira na prijemniku. Takav način rada svrstava ga u *aktivne* sustave daljinske detekcije. Na temelju podataka o reflektiranom zračenju mogu se veoma precizno interpretirati morfostrukturalni oblici i tektonika područja, što predstavlja važnu podlogu za istraživanje mineralnih sirovina. Osnovni sustav naziva se *bojni radar* ili SLAR (Sideloooking Airborne Radar), a postoje i druge varijante od kojih su neke ugrađene i u specijalne umjetne satelite i letjelice (SIR-B, Shuttle Imaging Radar B i dr.). Kao izlazni podatak dobivaju se kvalitetne crno-bijele fotografije.

U Jugoslaviji se ta metoda daljinskog istraživanja do sada nije primjenjivala.

LIT.: Grupa autora, Fotointerpretacija (prijevod). Vuk Karadžić, Beograd 1973. – Manuel of Remote Sensing, Vol. I i II. Amer. Society of Photogrammetry, Fall Church (USA) 1975. – B. Košćec, M. Denih, M. Knapp, Primjena termalnih i multispektralnih snimanja kod geoloških istražnih radova. Zbornik radova sa savjetovanja »Nove metode geoloških istraživanja i oprema«. JKLSMS, Opatija 1976. – F. F. Sabins, Remote Sensing; Principles and Interpretation. W. H. Freeman and Co., S. Francisco 1978. – M. Marković, Metod daljinske detekcije u geološkim istraživanjima. Zbornik radova savjetovanja Naučna i tehničko-tehnološka istraživanja u geologiji, rudarstvu i metalurgiji. SIT RGM, Neum 1980. – B. Košćec, Primjena termalnih IC snimanja kod istraživanja mineralnih sirovina. Tehnika, nauka, inženjering. Energoinvest, Sarajevo 1987.

B. Košćec

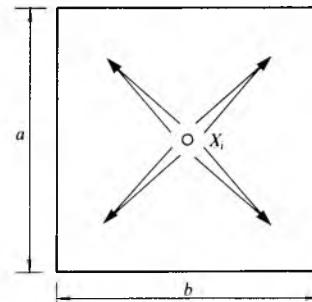
GEOSTATISTIČKA INTERPRETACIJA

Istražnim radovima na rudnom tijelu dobiva se niz podataka o njegovim svojstvima (debljina, položaj, kvaliteta rude i dr.). Raspolaže se, dakle, s mnogo numeričkih podataka koje treba proučiti i interpretirati. U tom poslu elektronička računala imaju veliku primjenu.

Zbog složenosti ležišta mineralnih sirovina nemoguće ih je potpuno istražiti, pa se svaka interpretacija rezultata istraživanja svodi na procjenu. Procjena, međutim, sadrži nesigurnosti koje su proporcionalne stupnju istrošenosti. Svrha je geostatističke interpretacije da se te nesigurnosti utvrde i kvantificiraju, kako bi se odredili najvjerojatniji podaci i varijance pogreške. Geostatistika proučava varijable vezane za položaj na ležištu, tzv. regionalizirane varijable. Po definiciji to su slučajne varijable koje imaju regionalizirani, strukturni aspekt.

Interpretacija se istražnih radova općenito sastoji od izrade prostornog modela nekog svojstva rudnog tijela. Pri tome se, npr., traži prosječna kvaliteta ležišta, ali i kvaliteta svakoga njegova dijela. Polazi se od informacije o promatranoj svojstvu koje pripada nekom volumenu ležišta koji je mnogo manji od ukupnog mineraliziranog volumena. To je inicijalna vrijednost varijable i ona će poslužiti za formiranje dvodimenzijskog ili trodimenijskog bloka kao konstruktivnog dijela matematičkog modela promatranoj svojstva. Teorijski se problem svodi na proširenje te inicijalne vrijednosti na promatrani blok (sl. 1), odnosno na proširenje procijenjene srednje vrijednosti na cijelo rudno tijelo. Oblik i veličina bloka ovise o promjenljivosti proučavanog svojstva. Odabrat će se trodimenijski blok kad se promatrano svojstvo jako mijenja po dubini ležišta. Osnova će bloku biti kvadratna ako je promjena u svim pravcima jednaka. U protivnom će ona biti pravokutna i orientirana po anizotropnim osima.

Osim geostatističke interpretacije primjenjuju se i konvencionalne metode: geometrijske, distancijsko-težinske i statističke. Radi se, dakle, o tome da se inicijalne vrijednosti geometrijski prošire na blok (metoda profila, poligonalna, triangularna metoda i sl.), odnosno da se proširi nekim linearnim modelom (recipročna udaljenost, njezin kvadrat ili treća potencija i sl.). Izuzimajući statističke metode, tim se metodama ne određuje razina nesigurnosti procjene.



Sl. 1. Princip proširenja u geostatistici

Primjena je statističkih metoda pokušaj da se rezultati istraživanja matematički analiziraju i pri tome se prepostavlja da je moguće primjeniti statističke zakonitosti. To znači da ne postoji korelačijska veza između inicijalnih vrijednosti, odnosno da je zona korelacije prekoračena istražnom mrežom. Obično se pretpostavlja da raspodjela nekog svojstva odgovara normalnoj (Gaussovoj) raspodjeli. Ako varijabla ne slijedi normalnu raspodjelu, pokušava se odrediti raspodjela logaritma varijable, pa se dobiva log-normalna raspodjela sa dva ili tri parametra. Treći je parametar izabrana konstanta koja se dodaje osnovnoj varijabli.

Rezerve se mineralne sirovine u ležištu procjenjuju određivanjem intervala srednje vrijednosti za određenu vjerojatnost pojave. Gornja i donja granica intervala srednje vrijednosti proširuje se na tlocrtnu površinu rudnog tijela, pa se tako dobivaju najveće i najmanje očekivane vrijednosti na razini odabранe vjerojatnosti. Eventualni program daljih istraživanja također je određen takvim proračunima, jer je moguće izračunati potreban broj dodatnih inicijalnih vrijednosti da bi se vjerojatnost povećala na željenu razinu. Te se metode primjenjuju u rudarstvu uz pomoć računala.

Praksa, međutim, pokazuje da pretpostavka o nepostojanju korelačijskih veza među inicijalnim vrijednostima često nije ispunjena. Tada se radi o regionaliziranim varijablama koje imaju i slučajna i strukturalna obilježja.

Regionalizirana varijabla. To je slučajna varijabla. Kao primjer neka posluži kvaliteta rude. Za to svojstvo vrijede zakoni vjerojatnosti i ono se smatra nepredvidljivim. Prema tome, kvaliteta rude određena na jednom mjestu može se dosta razlikovati od kvalitete na drugom mjestu. To je slučajna komponenta varijable. Vrijednosti varijable kvalitete, međutim, nisu samostalne, jer one uvijek pripadaju nekoj strukturi (npr. pripadnost bogatijim ili siromašnjim dijelovima rudnog tijela). To je regionalizirani, odnosno strukturalni aspekt promatrane varijable. Prema tome, regionalizirana varijabla ima, osim svoje vrijednosti, i koordinate položaja, dvodimenzijske ili trodimenijske. Slučajni se aspekt izražava zakonom raspodjele, a regionalizirani prostornom korelacijom.

Variogram regionalizirane funkcije. Variogram je osnovna funkcija u geostatistici. On pokazuje promjenljivost varijable za različite razmake među njenim vrijednostima. U prvom koraku to su vrijednosti koje se međusobno mnogo ne razlikuju, ali se razlike sve više povećavaju s povećanjem razmaka. Prostorna se korelacija i promjenljivost prikazuju funkcijom $\gamma(h)$ koja je određena izrazom

$$\gamma(h) = 0,5 \frac{\sum [f(x+h) - f(x)]}{N}, \quad (1)$$

gdje je h korak variograma, x koordinata vrijednosti varijable,

$f(x+h)$ i $f(x)$ vrijednosti regionalizirane varijable u točkama $x+h$ i x , a N broj parova u koraku h . Izračunate vrijednosti $\gamma(h)$ prema relaciji (1) unose se u koordinatni sustav $h, \gamma(h)$. Tako odredene vrijednosti nastoje se uklopiti u neku od teorijskih krivulja: linearu, sferičnu, eksponencijalnu i sl. U praksi se često pojavljuje i složena variogramska shema s dvije strukture, od kojih se prva naziva lokalnom, a druga osnovnom. To je, npr., variogram debljine boksinog rudnog tijela krškog tipa.

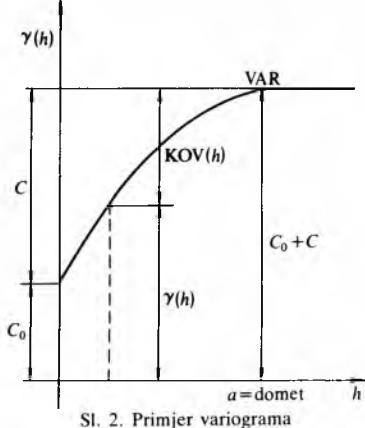
Na sl. 2 vidi se sferični variogram definiran sljedećim relacijama:

$$h = 0, \quad \gamma(h) = C_0, \quad (2a)$$

$$0 < h < a, \quad \gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad (2b)$$

$$h > a, \quad \gamma(h) = C_0 + C, \quad (2c)$$

gdje je C_0 nugget-varijanca (prema engl. *nugget*, grumen), $C_0 + C$ prag, a a domet variograma. Nemaju svi variogrami praga, npr. linearни variogram. Nugget-varijanca je posljedica slučajne komponente regionalizirane varijable, ali i eventualnih pogrešaka u mjerjenju. Domet je udaljenost do koje seže utjecaj elementa varijable. Na udaljenosti većoj od dometa vrijednosti su $\gamma(h)$ slučajne i bliske pragu.



Sl. 2. Primjer variograma

Ako na udaljenosti h prostorna kovarijanca ima vrijednost $KOV(h)$, vrijedi (sl. 2)

$$C_0 + C = \gamma(h) + KOV(h). \quad (3)$$

Variogrami u različitim pravcima mogu biti slični ili različiti. Ta se pojava naziva *anizotropijom*, a može biti zonalna ili geometrijska. Izražava se anizotropnim osima i anizotropnim koeficijentom.

Parametri očitani na variogramu (varijance, prag, domet, koeficijent anizotropije i sl.) unose se u model geostatističkom interpretacijom. To je najvažnija razlika između geostatističke metode i konvencionalnih metoda interpretacije.

U praksi se variogrami računaju pomoću računala na temelju podataka o vrijednostima varijable i njihovih koordinata. Računalu se zadaje pravac za koji treba odrediti variogram, zonu prikupljanja podataka i početnu vrijednost koraka h . Obično se istodobno računa variogram u zadanom i okomitom pravcu. Računalom se određuje oblik teorijskih krivulja koji najbolje aproksimira diskretne vrijednosti $\gamma(h)$.

Varijanca bloka i proširenja. To je postupak kojim se inicijalna vrijednost regionalizirane vrijednosti proširuje na blok ili kojim se vrijednost bloka formira pomoću više različito prostorno raspoređenih inicijalnih vrijednosti.

U rudarskoj praksi često je potrebno odrediti varijancu nekih svojstava malih blokova pomoću variograma koji vrijedi za veći blok. To se npr. pojavljuje pri određivanju varijance sadržaja bagerske žlice za smjensku, dnevnu ili tjednu proizvodnju. Varijanca je to veća što su blokovi manji.

Varijanca sadržaja rude malih blokova u velikom bloku odredena je izrazom

$$VAR(V/v) = VAR(V) - VAR(v), \quad (4)$$

gdje su $VAR(V)$ i $VAR(v)$ varijance velikog, odnosno malog bloka, koje se određuju na temelju variograma. Da bi se izbjegli komplikirani proračuni, uvedene su tzv. F -funkcije kojima su odredene vrijednosti varijance za različite tipove variograma, anizotropne koeficijente i oblike blokova. One se mogu naći u geostatističkoj literaturi u obliku dijagrama. Tada je moguće neposredno odrediti vrijednost $VAR(V/v)$ iz izraza (4), pa je

$$VAR(V/v) = F(V) - F(v). \quad (5)$$

Varijanci proširenja odgovara standardna pogreška u konvencionalnoj statistici. Obično se kaže da se dobiva varijanca pogreške kad se inicijalna vrijednost proširi na neku površinu. Ona ovisi o obliku i dimezijama površine prema anizotropnim osima te o položaju inicijalne vrijednosti prema toj površini.

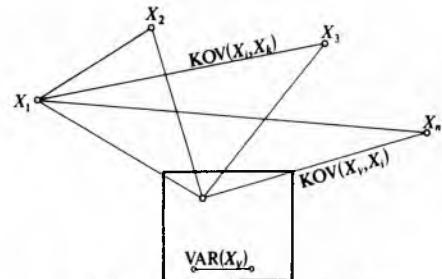
Kad se procjenjuje neki sadržaj bloka (X_V) na temelju uzorka s različito raspoređenim inicijalnim vrijednostima X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) (sl. 3), mogu se primijeniti linearni odnosi, pa je

$$X_V = \sum_n a_i X_i. \quad (6)$$

Analitički oblik varijance proširenja $VAR(e)$ glasi

$$\begin{aligned} VAR(e) = VAR(X_V) &= 2 \sum_{i=1}^n a_i \cdot KOV(X_V, X_i) + \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n a_i a_k KOV(X_i, X_k), \end{aligned} \quad (7)$$

gdje je KOV oznaka za kovarijancu.



Sl. 3. Uz određivanje varijance proširenja

Relacija (7) jedna je od osnovnih geostatističkih relacija. Varijanca je proširenja proporcionalna varijanci točkastih sadržaja u bloku. Što je manje jednoličan sadržaj u bloku, manje je precizna procjena sadržaja pri jednakom broju elemenata u uzorku. Od varijance bloka treba odbiti dvostruku kovarijanu između svake točke bloka i vrijednosti uzorka. Što su točke udaljenije od tog bloka, vrijednosti su kovarijanaca manje, pa je varijanca proširenja veća. Ako je udaljenost točaka veća od dometa, kovarijanca je jednaka nuli. Treći član u izrazu (7) odgovara zbroju kovarijanaca među inicijalnim vrijednostima uzorka. Taj član ima najveću vrijednost kad su položaji inicijalnih vrijednosti grozdasto raspoređeni u odnosu na promatrani blok, pa varijanca proširenja ima veliku vrijednost. Nasuprot tome, simetričan i ravnomjeren raspored inicijalnih vrijednosti ima najmanju vrijednost kovarijance i najmanje povećava varijancu proširenja. Zbog toga treba težiti takvom rasporedu istražnih radova.

Kako je u praksi dosta teško izračunati varijancu proširenja prema izrazu (7), postoje u literaturi izračunate pomoćne funkcije koje omogućuju jednostavno određivanje varijance proširenja za različite tipove variograma i za različite geometrijske odnose u jednoj, dvije ili tri dimenzije.

Geostatistička procjena rezervi u ležištu na osnovi istražnih radova u stvari je proširenje prosječne debljine sloja na cijelo ležište. Varijancom proširenja kategorizira se ležište u neku od propisanih kategorija (A, B ili C₁).

Metoda optimalne procjene (krigiranje). Tu je metodu prvi primijenio Južnoafričanac D. G. Krige (1977), pa se varijanca proširenja koja se dobiva pomoću takve metode naziva

krigiranom varijancom, a cijeli postupak *krigiranjem*. To je u stvari matematički problem minimizacije.

Za primjenu toga postupka cijelo se rudno tijelo podijeli na panele ili blokove. Procjenjuje se sadržaj svakog bloka (X_{vi}) i računaju se krigirane varijance. Ako je stvarni sadržaj i -tog bloka Z_{vi} , potrebno je da bude

$$E[Z_{vi} - X_{vi}]^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

gdje je E simbol za matematičko očekivanje (v. *Statistika*). Osim toga, mora biti zadovoljen uvjet koji glasi

$$E(Z_{vi}) = E(X_{vi}) = m, \quad (9)$$

gdje je m prosječni sadržaj rude u rudnom tijelu. U skladu s relacijom (9) zbroj koeficijenata a_i u izrazu (6) mora zadovoljiti uvjet

$$\sum a_i = 1. \quad (10)$$

Da bi se odredila krigirana varijanca, potrebno je odrediti minimalnu vrijednost funkcije (7) uz ograničenje (10). U toj su funkciji težinski koeficijenti a_i nepoznate. Tako određeni koeficijenti daju najbolju linearnu procjenu sadržaja panela, koju je moguće dobiti iz rezultata istražnih radova. To je veoma važno, jer su istražni radovi vrlo skupi, pa su svako smanjenje rizika u interpretaciji ili ušteda u istražnim radovima vrlo korisni.

Proračun za određivanje krigirane varijance provodi se na elektroničkom računalu.

Nugget-varijanca C_0 (2) u osnovnom variogramu veoma je važna u postupku krigiranja. Visoka vrijednost nugget-varijance upozorava na nestruktturni aspekt variabile, pa dovodi u pitanje opravdanost primjene toga postupka, jer se tada geostatistička interpretacija približava konvencionalnoj statističkoj interpretaciji. Kad je vrijednost nugget-varijance mala, ona stvara zaštitnu zonu oko najbližih vrijednosti u bloku protežujući njihov utjecaj. S porastom te varijance razbijaju se zaštitna zona, pa se utjecaj prenosi i na udaljenije vrijednosti varijable.

U tehnički krigiranju poznat je i *efekt sjenjenja*. Temelji se na utjecaju prostorne kovarijance. On regulira utjecaj inicijalnih vrijednosti koje su grozdasto raspoređene, dakle veoma nepovoljno s obzirom na promatrani blok. Pojedine inicijalne vrijednosti zasjenjuju druge sprečavajući ih da svojim nepovolnjim položajem utječu na promatrani blok. Taj efekt ukazuje na prednost regularne istražne mreže.

Velik se utjecaj u tehnički krigiranju pripisuje dometu. Inicijalne vrijednosti raspoređene oko promatranih bloka izvan dometa utječu na blok samo statistički, dok one u dometu bloka utječu i svojom regionaliziranim komponentom. Međutim, bez obzira na domet varijable, ako je vrijednost nugget-varijance velika, postupak krigiranja, kako je već spomenuto, nema opravdanja. Zbog toga je potrebno vrlo pažljivo odrediti funkciju $\gamma(h)$ za male vrijednosti h . Katkada se to postiže ekstrapolacijom vrijednosti dobivenih istražnim radovima, ali često gustim uzorkovanjem sadržaja na jednom ili više dijelova ležišta.

Primjena u praksi. Geostatistika se mnogo primjenjuje u planiranju istražnih rudarskih radova, interpretaciji rezultata istraživanja i programiranju eventualnih dopunskih istražnih radova. Pri tome je varijanca proširenja (krigirana varijanca) sintetski pokazatelj stupnja istraženosti. Eksperimentalni variogrami daju informacije o postojećim strukturama i elementima za dodatna istraživanja tih struktura.

U principu, svi rudarski problemi koji se odnose na kvalitetu ležišta imaju geostatistička svojstva.

LIT.: G. Matheron, *Traité de géostatistique appliquée*. Editions techniques, Tome 1, Paris 1962; Tome 2, Paris 1963. – V. Serdar, *Udžbenik statistike*. Školska knjiga, Zagreb 1970. – V. Vrančić, *Vjerovatnost i statistika*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971. – Ž. Paušić, *Vjerovatnost, informacija, stohastički procesi*. Školska knjiga, Zagreb 1974. – M. Guarascio, M. David, Ch. Huijbregts (Ed.), *Advanced Geostatistics in the Mining Industry*. Reidel, Dordrecht 1976. – D. G. Krige, *Lognormal-de Wilsian Geostatistics for Ore Evaluation*, S. A. I. M. M., Johannesburg 1978. – M. Perišić, *Primjena geostatistika*. Rudarski institut, Beograd 1983.

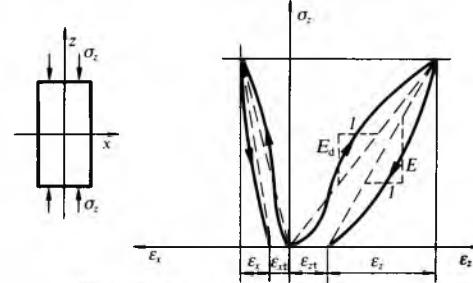
P. Marijanović

RUDARSTVO, MEHANIKA STIJENA. Mehanička stijena dio je mehanike primijenjen na proučavanje mehaničkih svojstava stijena i u njima izgrađenih inženjerskih objekata. Proizvodi fizičkog i kemijskog raspadanja stijena koji tvore tla proučavaju se u mehanici tla (v. *Mehanika tla*, TE 8, str. 235). Mehaničku stijenu u rudarstvu proučavaju se tri osnovne grupe objekata: podzemni rudarski objekti i njihov utjecaj na površinu, košne površinskih kopova i odlagališta jalovine, te bušotine pri istraživanju i eksploraciji mineralnih sirovina.

Karakteristike stijena i stijenskih masa

Pod pojmom stijenske mase razumijevaju se stijene kao sastavni dijelovi litosfere. Stijena je odvojeni dio stijenske mase, no ta dva pojma nisu strogo ograničena i često se zamjenjuju. Stijenske su mase bile u Zemljinoj kori izložene promjenljivim naprezanjima koja su uzrokovala deformacije, promjene položaja, nove strukturne oblike i lomove. Sve su stijenske mase redovito diskontinuirane, nehomogene, anizotropne, nelinearno elastične, plastične i imaju izražena reološka svojstva. Izraženost tih karakteristika ovisi o mehaničkim svojstvima monolita, diskontinuitetu stijenske mase, količini vode u stijeni, te o unutrašnjim naprezanjima.

Mehanička svojstva monolita određena su omjerom između naprezanja i deformacije koji se izražava Hookeovim zakonom (sl. 1) (v. *Nauka o čvrstoći*, TE 9, str. 286). Ukupna deformacija ϵ_u u pravcu osi z pri rasterećenju ima dva dijela: elastičnu deformaciju ϵ_z i trajnu deformaciju ϵ_{zt} .



Sl. 1. Hookeov zakon za uzorak stijene

Ukupni je modul ili modul deformacije

$$E_d = \frac{\delta_z}{\epsilon_z + \epsilon_{zt}}, \quad (1)$$

gdje je δ_z jednoosna čvrstoća uzorka. Poissonov koeficijent može također biti za elastičnu deformaciju v_t ili za trajnu deformaciju v_r . Ovisnost između naprezanja i deformacija za anizotropne materijale definirana je sa 21 konstantom elastičnosti, za materijale s jednom ravnnom simetrije sa 13, za ortotropne materijale (3 ravnine simetrije) sa 9, za transverzalno izotropne materijale sa 5 i za izotropne materijale s dvije konstante elastičnosti. Stijene su redovito anizotropne, ali se s dovoljnom točnošću može pretpostaviti da su sedimentne i metamorfne stijene transverzalno izotropne ili ortotropne, pa se mjeranjem može utvrditi dovoljno podataka da bi se izračunao broj konstanata elastičnosti. Stijene imaju približno deset puta manju čvrstoću na vlak nego na tlak (tabl. 1).

Tablica 1
OSNOVNI MEHANIČKI PODACI ZA NEKE VRSTE STIJENA

Vrsta stijene	Čvrstoća σ MPa		Modul elastičnosti E GPa	Poissonov koeficijent v	Gustoća ρ kg/dm ³
	vlak	tlak			
Granit	6...35	60...300	10...75	0,1...0,3	2,6...2,7
Dijabaz	15...50	110...320	70...110	0,1...0,3	2,8...3,2
Andezit	7...20	70...200	20...60	0,1...0,3	2,2...2,6
Pješčenjak	2...20	30...200	5...70	0,1...0,4	2,1...2,8
Mramor	5...30	50...280	20...100	0,1...0,4	2,6...2,9
Vapnenac	2...20	20...220	10...80	0,1...0,35	1,9...2,8
Dolomit	3...15	30...150	20...100	0,1...0,35	2,4...2,9
Sol	1...10	20...100	–	0,1...0,3	2,1...2,9
Ugljen	0,4...7	5...70	–	0,1...0,45	–