

tivanje uzima se 25 opeka, a ispituju se sljedeća svojstva: dimenzije i iskrivljenost, čvrstoća na tlak, čvrstoća na savijanje, upijanje vode, otpornost prema smrzavanju, masa pojedine opeke, štetno djelovanje soli i vapna.

Dimenzije opeke provjeravaju se na 10 opeka s točnošću od 1 mm. Kao rezultat uzima se srednja vrijednost dvaju mjerenja za duljinu, širinu i visinu. Odstupanje od pravog kuta mjeri se na dva dijagonalna ugla metalnim kutnikom, a okrnjenost čeličnim ravnalom s točnošću od 1 mm. Iskrivljenost površine ispituje se provlačenjem opeke ili bloka između dviju paralelnih ravnina razmaknutih na udaljenost određenu za pojedinu vrstu opeke ili bloka.

Čvrstoća na tlak blokova i ploča ispituje se na pet uzoraka. Za ispitivanje punih opeka normalnog formata (250 × 120 × 65 mm) priređuje se deset opeka. Opeke se navlaže i lijepe po dvije zajedno cementnim mortom (omjer 1:1, debljina do 5 mm, pijesak sa zrcima do 0,1 mm). Plohe ovako slijepljenih opeka moraju biti potpuno ravne i paralelne. Kada mort otvrdne, uzorci se polagano i ravnomjerno opterećuju do loma. Tlačna čvrstoća (σ_p) izračuna se iz sile loma F i stvarnog presjeka A koji preuzima opterećenje (površina uzorka):

$$\sigma_p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Rezultat je srednja vrijednost pet ispitivanja.

Nosivost blokova ispune ispituje se na pet uzoraka koji se postave na dva oslonca donjom površinom, ili na krajevima istaka, a na sredini gornje površine postavi se čelična traka duljine bloka. Opeka se zatim ravnomjerno opterećuje do loma.

Čvrstoća na savijanje prema našim se standardima ne ispituje, a ako se posebno traži, ispituje se samo za punu, šuplju i fasadnu opeku normalnog oblika. Opeka se postavi na dva ležaja na kojima je prethodno po cijeloj širini nanesen cementni mort minimalne debljine širok 30 mm. Opeka se na sredini postepeno opterećuje do loma. Čvrstoća na savijanje izračuna se prema formuli

$$\sigma_s = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (2)$$

gdje je F sila loma, l udaljenost ležišta, b širina, a h visina opeke.

Provjera mase ispituje se na pet uzoraka osušenih u sušionici na temperaturi 105 °C. Nakon sušenja masa se mjeri dva puta u vremenskom intervalu od dva sata s točnošću od 1 g. Ako razlika rezultata mjerenja nije veća od 2%, određena je stalna masa opeke.

Upijanje vode određuje se iz razlike mase opeke natopljene u hladnoj ili kipućej vodi i suhe opeke. Za ispitivanje se uzima pet opeka osušenih do stalne mase. Odvagnute opeke postavljene okomito preliju se vodom u posudi do polovice visine. Nakon dva sata voda se dolije do 3/4 visine, a nakon 22 sata do pune visine opeke. Opeka leži u vodi 24 sata od početka pokusa, a nakon toga opeka se važe i ponovno potapa u vodu 24 sata. Postupak se ponavlja dok se ne postigne stalna masa. Tada se mjeri masa opeke s točnošću od 1 g. Postotak upijanja vode određuje se pomoću izraza

$$U = \frac{m_1 - m}{m} 100\%, \quad (3)$$

gdje je m stalna masa suhe opeke, a m_1 stalna masa vodom zasićene opeke.

Da se odredi upijanje u kipućej vodi, opeke moraju biti potopljene u vodi 24 sata. Nakon toga voda se zagrijava 1 sat do ključanja i kuha se četiri sata. Opeke se zatim ohlade, površinski osuše i važu. Postotak upijanja kipuće vode izračunava se iz izraza

$$U_k = \frac{m_2 - m}{m} 100\%, \quad (4)$$

gdje je m_2 masa opeke poslije kuhanja, a m stalna masa suhe opeke.

Postojanost prema smrzavanju ispituje se na pet vodom zasićenih opeka koje se smrznu na temperaturi $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ kroz četiri sata. Nakon toga opeke se odmrzavaju potapanjem u vodi temperature od $15 \dots 20^\circ\text{C}$ četiri sata. Ciklus smrzavanja i odmrzavanja ponavlja se onoliko puta koliko je propisano standardom za određenu vrstu proizvoda. Opeka je postojana prema smrzavanju ako poslije ispitivanja ostane neoštećena, i ako se ne ljušti i ne raspada. Ako se opeka pokusom ošteti, vaganjem se izmjeri gubitak mase nakon pokusa i iskaže u postocima. Gubitak, koji ne smije biti veći od 2%, određuje se iz izraza

$$G = \frac{m_0 - m_1}{m_0} 100\%, \quad (5)$$

gdje je m_0 masa suhe opeke prije smrzavanja, a m_1 masa suhe opeke nakon smrzavanja.

Štetno djelovanje soli (iscvjetavanje). Ako se u opeci nalaze soli topljive u vodi, one se kristaliziraju i izbijaju na površinu kao sitne bijele iglice, bijele mrlje i u obliku cvjetova. Iscvjetane soli štetno djeluju na mort koji se tada ljušti i raspada, a mogu se raspasti i opeke. Izbijanje soli ispituje se na šest prepolovljenih opeka koje se stavljaju u destiliranu vodu. Kad su opeke zasićene vodom, ostave se na sobnoj temperaturi i promatraju sedam dana. Ako se pokaže sklonost iscvjetavanju, određuje se količina topljivih soli kemijskom analizom.

Štetno djelovanje vapna. Gline od kojih se izrađuje opeka ne smiju sadržati veće komadiće vapnenca, jer pri pečenju vapnenac prelazi u živo vapno koje se u opeci veže s vodom iz zraka, pri tom se gasi, pa se povećava volumen, a opeka zbog toga puca. Štetno djelovanje vapna ispituje se na pet opeka ili blokova. Uzorci natopljeni vodom stavljaju se u autoklav i izlažu djelovanju zasićene pare pod tlakom od 0,3 MPa tokom tri sata. Nakon završenog ispitivanja opeka ne smije biti oštećena. Ako u opeci ima vapna, opeka će se oštetiti i mrviti. U drugom postupku opeka se stavlja u ulaznu komoru kroz 14 dana, nakon čega se vidi dali u opeci ima vapna.

LIT.: Lj. Barić, M. Tjader, Mikrofiziografija petrogenih minerala. Školska knjiga, Zagreb 1967. — P. Koščević, Građevna opeka, crijep i ostali opekarski proizvodi. Tehnička knjiga, Zagreb 1969. — I. Piton, Priručnik za proizvodnju cigle, crepa i šupljih elemenata. Privredni pregled, Beograd 1970. — I. Blume-nav, Priručnik o uporabi opeke. Gradbeni center Slovenije, Ljubljana 1971.

J. Zajc

OPLEMENJIVANJE MINERALNIH SIROVINA

(priprema ili obogaćivanje mineralnih sirovina), prerada čvrstih mineralnih sirovina fizikalnim, fizikalno-kemijskim ili kemijskim postupcima radi odvajanja korisnih od nekorisnih sastojaka. Takva je prerada gotovo uvijek potrebna jer se mineralne sirovine u Zemljinoj kori gotovo nikad ne nalaze čiste, bez beskorisnih ili i štetnih primjesa, jer su mineralni sastojci mahom međusobno srasli pa ih treba razdvojiti i jer granulaciju oplemenjenih proizvoda veoma često treba prilagoditi potrebama korisnika. To se može postići zato što se u svim mineralnim sirovinama fizikalna i kemijska svojstva pojedinih komponenata međusobno razlikuju. Te se razlike u oplemenjivačkim postupcima iskorišćuju uglavnom neposredno, ali se u nekim postupcima fizikalna svojstva moraju izmijeniti da bi se postigli traženi rezultati. Tako se, npr., u flotaciji djelovanjem specijalnih reagenata mijenjaju površinska svojstva minerala (v. Flotacija, TE 5, str. 460), a u električnoj se koncentraciji djelovanjem elektrostatičkog polja utječe na površinsku vodljivost (v. Elektrostatičke operacije, TE 5, str. 43).

U historiji oplemenjivanja mogu se, veoma grubo, razlikovati tri razdoblja: prvo, od pradavnih vremena do, približno, XVI stoljeća, tj. do pojave knjige De re metallica (1556), drugo, do kraja XVIII stoljeća, tj. do izuma parne mašine i, treće od tada do danas.

Prvi je oplemenjivač bio pradavni čovjek kad je iz sljunksa odabirao oblutke pogodbe za upotrebu kao oruđe ili oružje. U bakrenom i brončanom doba svakako se znalo za neki postupak dobivanja bakra i kositra. Vjerojatno su se ti postupci osnivali na korištenju tekuće vode, možda putem ispiranja

u pliticama, uređajima sličnim onima koji se i danas ponegdje upotrebljavaju za ispiranje zlata. Za dobivanje zlata odavno su se upotrebljavala životinjska krzna prostrta na dnu zlatonosnih potoka. Teška zlatna zrnca hvatala su se među dlakama, a lakša pješčana zrna otplavljivala je voda. Vjerojatno se na tome temelji priča o zlatnom runu. Sitnjenje se po svojoj prilici obavljalo razbijanjem krupnijim kamenjem, ali o tome, kao ni o drugim oplemenjivačkim postupcima, gotovo i nema podataka iz starog vijeka. Istina, prilikom iskapanja u starim grčkim rudnicima srebra u Lavrionu nađene su nagnute kamene ploče na kojima se pomoću tekuće vode obogaćivao srebronosni galenit, ali o tome, ne računajući neke neodređene prikaze na vazama, nema pismenih zapisa. Isto tako, u rimskoj književnosti, koja je inače bogata podacima o tehnici općenito, rudarstvo gotovo i nije spomenuto. To je svakako zbog toga što se rudarstvo smatralo nečasnim poslom samo za robove i osuđenike, pa se o tome i nije pisalo. Ipak, čini se da je opravdana pretpostavka da je tekuća voda u tom prvom razdoblju bila glavno oruđe za dobivanje metalnih koncentrata i to u cijelom svijetu. Tako se i u Jinanu u istočnoj Kini već stoljećima, ako ne tisućljećima, za oplemenjivanje kositrenih ruda upotrebljavaju kamene (ili drvene) ploče, slične onima iz Lavriona. Ti se uređaji mogu uzeti kao preteče koncentracijskih stolova (v. *Gravitacijska koncentracija*, TE 6, str. 269) kakvi su se pojavili u srednjem vijeku u Evropi.

Drugo razdoblje, kako je spomenuto, počinje djelom *De re metallica* Georgiusa Agricole (pravo ime Georg Bauer). Pisac po zvanju liječnik u Jáchymovu i gradonačelnik u Chemnitzu, daje temeljit prikaz znanja svog vremena o rudarstvu i oplemenjivanju, toliko pouzdan da je knjiga još sljedeća dva stoljeća služila kao glavni udžbenik tih tehničkih disciplina. Popraćeni vanrednim crtežima (v. *Gravitacijska koncentracija*, TE 6, str. 266), u djelu su iscrpno opisani postupci i uređaji tada primjenjivani u oplemenjivanju ruda. Agricola opisuje stupe (v. *Drobljenje*, TE 3, str. 400), klasiranje na nepokretnim sitima, a od koncentracijskih postupaka uglavnom postupke gravitacijske koncentracije pomoću plakalica, stolova i žljebova. Opisi su tako detaljni da je očevito kako su to bili već desetljećima dobro poznati uređaji. Oni su i tehnološki bili toliko pouzdani da osim njih, sve do početka trećeg razdoblja, dakle za blizu 200 godina, i nije bilo drugih uređaja za dobivanje koncentrata metala.

Treće razdoblje počinje pronalaskom parne mašine. To je omogućilo povećanje oplemenjivačkih uređaja jer se počinje iskorištivati mehanička energija proizvedena tom mašinom. Tada je konstruirana i još se danas primjenjuje klipna plakalica tipa Harz (v. *Gravitacijska koncentracija*, TE 6, str. 267). Ipak, nove mogućnosti proizvodnje energije našle su glavnu primjenu u sitnjenju. Pojavile su se valjkaste drobilice, koje su u velikoj mjeri zamijenile žrnjeve dotada pokretane ljudskom ili životinjskom snagom, a 1858. god. patentirao je W. P. Blake čeljusnu drobilicu koja je, u vitalnim dijelovima neizmijenjena, još i danas glavni uređaj u primarnom drobljenju (v. *Drobljenje*, TE 3, str. 395). Za sekundarno drobljenje počinju se nešto kasnije upotrebljavati kružne drobilice, a za mljevenje su potkraj XIX stoljeća uvedeni bubnasti mlinovi (prvi je instaliran 1893. god. i imao je kugle od kremenja kresiva — flinta). U klasiranju se od nepokretnih sita prešlo na pokretna, a oko 1920. god. pojavili su se mehanički klasifikatori. U koncentraciji samoj nije bilo načelnih novina sve do početka XX stoljeća. Uređaji gravitacijske koncentracije (plakalice, stolovi i žljebovi) bili su i dalje glavni uređaji za dobivanje rudnih koncentrata ali i za preradu ugljena. Prerada ugljena, koji je postao važna energetska sirovina, snažno je utjecala na razvoj oplemenjivačke tehnike, i to uglavnom zbog potrebe da se prerade dotada u rudarstvu nezamislive količine. Tako su se, danas veoma važni, postupci koncentracije u suspenziji, iako poznati još od sredine prošlog stoljeća, počeli snažno razvijati i primjenjivati tek dvadesetih godina našeg stoljeća, kada je postupak Chance (v. *Gravitacijska koncentracija*, TE 6, str. 271) omogućio odvajanje sve većeg udjela jalovine u rovnom ugljenu. Istih je godina počeo definitivni prodor flotacije, koja je postala glavni oplemenjivački postupak za rude metala, ali uskoro i za mnoge druge industrijske sirovine, pa donekle i za ugljen. Do toga je došlo zbog osiromašnja ležišta i sve intenzivnije mehanizacije čime je znatno porastao udio sitnezi u iskopini, a fini se granulati ne može uspješno preraditi postupcima gravitacijske koncentracije, koja je do tada prevladavala među oplemenjivačkim postupcima. Do pojave flotacije, razdvajanje (sortiranje) veoma sitnih čestica, manjih od 1–3 mm, u industrijskom mjerilu nije bilo moguće. Kako je, međutim, udio materijala takve granulacije postajao sve veći, a mnoge industrijske grane mogu raditi samo s čistim, oplemenjenim sirovinama, sortiranje je pomoću flotiranja postalo glavni postupak oplemenjivanja.

Posljednjih je desetljeća bilo mnogo pokušaja da se za oplemenjivanje iskoriste i druga svojstva mineralnih sirovina. Tako su, npr., na temelju optičkih svojstava izrađeni uređaji za razdvajanje mutnog i sjajnog ugljena, ali i drugih sirovina kad postoji takva razlika njihovih komponenata. Tako se od primjesa mogu čistiti barit, vapnenci, glinenci i dijamaniti, a bilo je i pokušaja s boksitom koji se po boji izrazito razlikuje od svoje jalovine. I *fluorescencija* nekih minerala iskorištena je za njihovo oplemenjivanje (npr. za šelitske volframe rude). Rude azbesta oplemenjuju se na temelju mogućnosti *raščešljavanja* njihovih vlakana. Pokušalo se i s razlikama *elastičnosti*, *toplinske vodljivosti* i drugih svojstava, ali su takvi postupci primjenjivi samo za neke sirovine.

Poslije drugoga svjetskog rata u oplemenjivanju mineralnih sirovina nisu razvijeni načelno novi postupci. Razvoj danas ide u tri smjera: produbljuje se izučavanje *teorijskih osnova uređaja i procesa*, uvodi se *automatizacija i automatska kontrola* gdje je god to moguće (u prvom redu u sitnjenju) i primjenjuje se *matematičko modeliranje* radi optimiranja procesa. Najuočljiviji je razvoj u *veličini uređaja*: u čeljusnim se drobicama danas mogu preradivati komadi do 1,2 m srednjeg promjera, kružne drobilice imaju snagu od 530 kW, a bubnasti mlinovi i do 6000 kW, flotacijske čelije imaju kapacitet i do 17 m³, a razmišlja se i o čelijama od 28 m³ kao o sljedećoj generaciji.

U tabl. 1 nalazi se pregled mineralnih sirovina prema jednoj od mnogobrojnih *tehničkih klasifikacija*. Treba napomenuti da se od navedenih sirovina samo tekuće i plinovite (nafta i zemni plin) ne oplemenjuju postupcima opisanim u ovom članku.

U oplemenjivanju se iskorišćuju, ili se mogu iskoristiti, sljedeća svojstva, odnosno značajke mineralnih sirovina: optičke

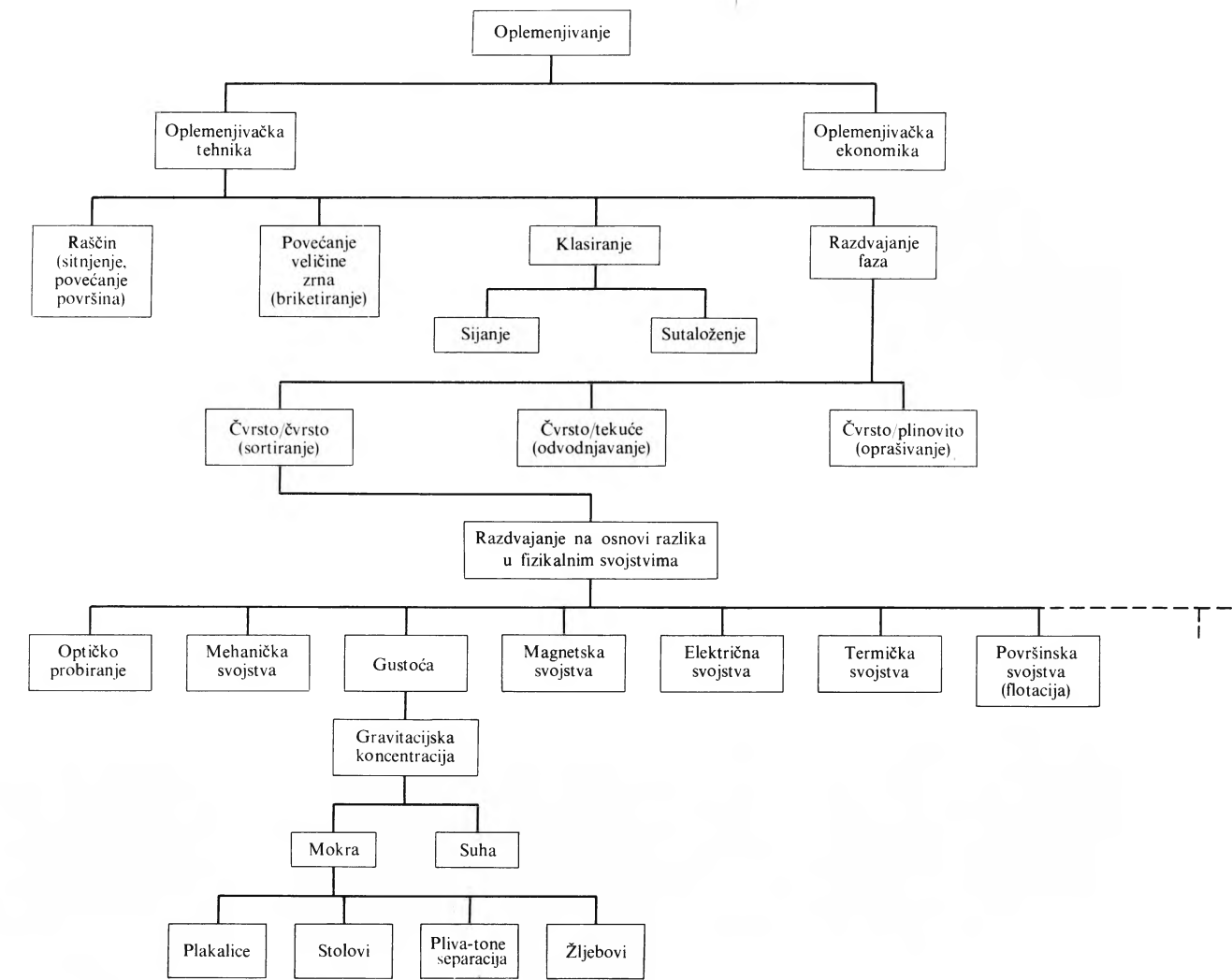
Tablica 1
MINERALNE SIROVINE

Rude metala	Prirodna mineralna goriva:	treset, lignit, mrki i kameni ugljen, nafta, uljni škriljanci, bituminozni pijesci
	Rude crnih metala:	željeza, mangana, kroma, vanadija, titana, volframa, molibdena
	Rude obojenih metala:	nikla, kobalta, bakra, olova, cinka, kadmija, kositra, bizmuta, žive, antimona, arsena, germanija, galija, indija, talija
	Rude plemenitih metala:	zlata, srebra, platine
	Rude lakih metala:	aluminija, magnezija, silicija, kalcija, stroncija, natrija, kalija, rubidija, cezija, litija, berilija
Nemetalne mineralne sirovine	Rude rijetkih metala:	skandija, itrija, lantana, cera, cirkonija, hafnija, niobija, tantalata
	Radioaktivne rude:	urana, radija, torija
	Drago kamenje	
	Kuhinjska sol	
	Mineralna gnojiva:	kalijeve soli, fosfati, dušični spojevi
	Vatrostalne sirovine:	azbest, gline, dolomit, ...
	Metalurški topitelji:	vapnenac, dolomit, kvarc, kriolit, fluorit
	Fuleroval zemlja:	montmorijonit, diatomljevska zemlja, pršina (tuf), ...
	Mineralne boje i punila:	gips (sadra), barit, kreda, liskun (tinjac), rutil, mnogi oksidi
	Izolacijski minerali:	liskun (tinjac), talk, azbest serpentini, steatit, sepiolit (stiva), muskovit, plovuac, jantari
	Brusni minerali:	dijamant, korund, kvarc, flint, sepiolit
	Tribološki materijali:	grafit, talk, pirofilit
	Optički minerali:	fluorit, kalcit, gorski kristal
	Radiotehnički minerali:	gorski kristal, galenit, pirit
	Keramički minerali:	kaolinit, haloazit, montmorijonit
	Minerali za cementnu industriju:	vapnenac, glina, tupina, lapor, pršina (tuf), boksit
	Staklarski minerali:	kvarcni pijesak, feldspat (glinenci), kaolin, glina
	Građevni minerali:	različite stijene, šljunak, pijesak, škriljavac

karakteristike (boja, sjaj), oblik, veličina zrna, gustoća, magnetska susceptibilnost, električna vodljivost, površinska svojstva (osobito kvašljivost), adhezija, radioaktivnost, tvrdoća, žilavost, krtoš, ponašanje prilikom zagrijavanja. Iskorištavanjem tih i nekih drugih, manje izrazitih, svojstava u oplemenjivanju, agregatno stanje i fizikalni integritet uglavnom se ne mijenjaju, osim u nekim graničnim postupcima, kao što su amalgamacija (v. *Amalgamacija*, TE 1, str. 250), cijanizacija (v. *Cijanizacija*, TE 2, str. 641), luženje (v. *Luženje*, TE 7, str. 572) i prženje (v. *Metalurgija*, TE 8, str. 435), te u nekim specifičnim postupcima (dobivanje titana iz ilmenita, dobivanje elektrodnog koksa iz ugljena i dr.).

Općenita sistematzacija oplemenjivačkih postupaka kojima se preraduju najviše mineralnih sirovina vidi se na sl. 1, dok su u tabl. 2 prikazana svojstva minerala i postupci kojima se iskorišćuju ta svojstva za oplemenjivanje.

Oplemenjivanje se može svesti na dvije temeljne operacije, *raščin* (ili otvaranje) i *razdvajanje* (ili separiranje, odnosno sortiranje). Najčešće se primjenjuju obje operacije, i to navedenim redom, ali ponekad se finalni produkt dobiva i samo jednom od navedenih operacija. Raščin sirovine postiže se najčešće sitnjenjem (v. *Drobljenje*, TE 3, str. 395, i *Mljevenje*, TE 8, str. 621), a razdvajanje različitim oplemenjivačkim postupcima



Sl. 1. Pregled oplemenjivačkih postupaka

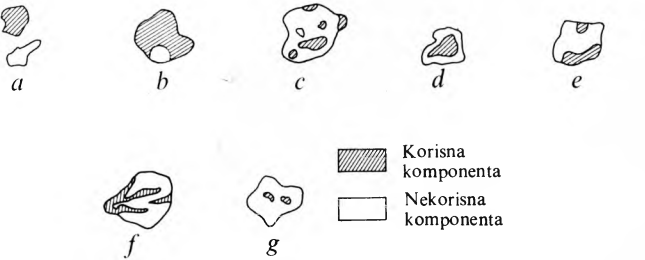
Tablica 2
PREGLED OPLEMENJIVAČKIH POSTUPAKA
S OBZIROM NA SVOJSTVA MINERALNIH SIROVINA

Svojstvo	Oplemenjivački postupak
Optičko svojstvo (boja, sjaj i dr.)	Ručno ili mehaničko sortiranje i probiranje prema boji, sjaju ili fluorescenciji radi izdvajanja koncentrata, jalovine, »jamskih otpadaka« (komada jamskog drva, metalnih otpadaka i sl.) i dr.
Gustoća	Neke vrste klasiranja, gravitacijska koncentracija, centrifugiranje
Površinska svojstva	Flotacija, flokulacija
Feromagnetizam	Magnetska koncentracija
Električna vodljivost	Elektrostatička koncentracija
Radioaktivnost	Detekcija radioaktivnih čestica elektroničkim uređajima radi njihovog izdvajanja (uglavnom laboratorijski postupak jer je skup i ograničen zakonskim ekološkim propisima)
Oblik	Klizni pritisak na čestice radi njihovog skretanja u različitim pravcima
Tekstura	Korištenje razlike u žilavosti komponenata; dekrepitacija (za barit koji se rasprskava, dekrepitira prilikom zagrijavanja pa se, zatim, sijanjem odvaja od pratećih minerala)

(v. Amalgamacija, TE 1, str. 250; Briketiranje, TE 2, str. 153; Cijanizacija, TE 2, str. 641; Elektrostatičke operacije, TE 5, str.

43; Flotacija, TE 5, str. 460; Gravitacijska koncentracija, TE 6, str. 265; Klasiranje, TE 7, str. 130; Magnetska separacija, TE 7, str. 639; Sitnjenje).

Krajnja je svrha raščina potpuno odvajanje korisne od nekorisne komponente. To se postiže veoma rijetko, i to samo ako su granične plohe komponenata u sirovini ravne. Mogući slučajevi raščina prikazani su na sl. 2. Kad su komponente potpuno razdvojene (sl. 2a), postignut je već i drugi, finalni, stepen oplemenjivanja. To se, međutim, veoma rijetko događa. Nepotpun je ali dovoljan raščin (sl. 2b) kad korisna komponenta toliko preteže da se utjecaj jalovine tehnološki ne osjeća. Nedovoljan raščin (sl. 2c) može se katkada poboljšati dopunskim sitnjenjem. Postigne li se raščin kao na sl. 2d, razdvajanje je možda moguće gravitacijskom ili magnetskom koncentracijom, ali nije moguće flotacijom ili luženjem. Kad je postignut raščin kao na sl. 2e, moguće je razdvajanje luženjem ili otapanjem.



Sl. 2. Vrste raščina. a potpun raščin, b nepotpun ali dovoljan raščin, c nedovoljan raščin, d i e uslovno dovoljan raščin, f uslovno moguć raščin, g nemoguć raščin

Kad korisna komponenta u jalovinskoj matrici ima oblik žilica (sl. 2f, npr. zlato u kvarcu), razdvajanje se može postići samo dopunskim sitnjenjem. Kad se korisna komponenta nalazi kao inkluzija u matrici (sl. 2g, npr. halkopirit u sfaleritu, zlato u silikatima ili piritu), raščin nije moguć danas poznatim sredstvima.

U praktičnom radu spomenute se dvije temeljne operacije mogu sistematizirati u četiri glavne grupe: *sitnjenje* (drobljenje i mljevenje), *klasiranje*, *koncentracija* (obogaćivanje, sortiranje, separiranje) i *odvodnjavanje*. Tomu se obično dodaju još i pomoćni radovi: uzorkovanje, deponiranje, unutrašnji transport, mjerenje, doziranje i sl. Da bi se dobio finalni produkt, često nisu potrebna sva četiri postupka. Tako se prodajne vrste ugljena (sortimani) često dobivaju samo klasiranjem. Slično je i s nekim nemetalnim sirovinama, gdje se ponekad korisni produkti mogu dobiti i samo pranjem.

Finalni produkti oplemenjivanja metalnih i nemetalnih sirovina (ruda, odnosno nemetala) (v. *Rudarstvo*) zovu se koncentrat i jalovina. Osim toga, često se dobiva i *međuprodukt*. To može biti pretkoncentrat, tj. intermedijarni proizvod neke koncentracijske faze, a može biti i drugi koncentrat u nekom uređaju koji daje dva korisna produkta. Tako se, npr., upotrebom koncentracijskog stola u preradi olovno-cinkovih ruda mogu dobiti koncentrat cinka, međuprodukt cinka i jalovina. Uvijek, međutim, međuprodukt sadrži korisnu komponentu, iako slabijeg kvaliteta. Koncentrat sadrži uz korisnu i nekorisnu komponentu sirovine, a jalovina uz nekorisnu i korisnu komponentu, i to zato što je svaka mineralna sirovina prema svom kemijskom i granulacijskom sastavu, mineraloško-petrografskoj strukturi i fizikalnim svojstvima toliko kompleksna da se ni tehnički savršenim postupcima ne može postići potpuno razdvajanje u pogonu. Zato se nikada ne postiže stopostotno iskorištenje. *Iskorištenje* u oplemenjivanju označuje odnos između mase tražene komponente u koncentratu i mase te iste komponente u ulaznoj sirovini (ulazu). Drugi je važan indeks u oplemenjivanju *koncentracijski stepen*. To je broj težinskih jedinica ulaza koji daju jednu težinsku jedinicu koncentrata.

Označi li se sa *R* iskorištenje, sa *K* koncentracijski stepen, sa *U*, *C* i *J* masa ulazne sirovine, koncentrata i jalovine, a sa *u*, *c* i *j* udio tražene komponente u ulaznoj sirovini, koncentratu i jalovini u procentima (što je, zapravo, kvalitet komponente), dobivaju se iskorištenje i koncentracijski stepen iz izraza:

$$R = \frac{C c}{U u} 100, \quad (1)$$

$$K = \frac{U}{C}. \quad (2)$$

Proizvodi li se samo koncentrat i jalovina (bez nekog međuprodukta), materijalna je bilanca sirovine

$$U = C + J \quad (3)$$

i tražene komponente

$$U u = C c + J j. \quad (4)$$

Ako se izraz (3) pomnoži sa *j*, te ako se tako dobiveni izraz oduzme od relacije (4), dobiva se izraz za koncentracijski stepen

$$K = \frac{U}{C} = \frac{c - j}{u - j}, \quad (5)$$

pa je, prema izrazu (1), iskorištenje

$$R = \frac{c(u - j)}{u(c - j)} 100. \quad (6)$$

Primjer: *u* = 0,8% Cu, *c* = 21% Cu, *j* = 0,07% Cu; dobiva se

$$R = \frac{21(0,8 - 0,07)}{0,8(21 - 0,07)} 100 = 91,16\%, \quad K = \frac{21 - 0,07}{0,8 - 0,07} = 28,7.$$

Pomoću iskorištenja (*R*) i koncentracijskog stepena (*K*) jednoznačno se može prikazati tehnološki uspjeh oplemenjivačkog

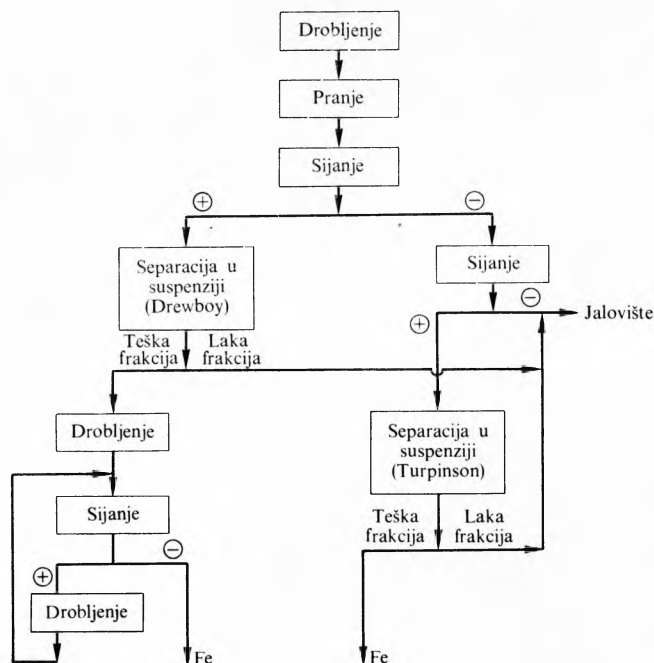
postupka. Osim toga, redovno se uzima u obzir i *kvalitet koncentrata* koji se definira postotkom tražene komponente u krajnjem produktu, koncentratu. U tabl. 3 prikazane su mogućnosti oplemenjivanja najvažnijih ruda s obzirom na iskorištenje i kvalitet koncentrata kao funkcija minimalnih količina metala u sirovini neophodnih za ekonomično otkopavanje današnjim tehničkim sredstvima. S razvojem postupaka otkopavanja i oplemenjivanja spomenuti se minimalni udjeli smanjuju. Tako je, npr., još prije dva-tri desetljeća minimalna potrebna količina olova i cinka u rudi za ekonomičnu eksploataciju iznosila 4%, bakra 1%, nikla 1,5%, a srebronosna se ruda nije otkopavala ako nije sadržavala barem oko 500 g srebra po toni rude.

Tablica 3
NAJMANJA POTREBNA KOLIČINA METALA U RUDI I POSTIZIV USPIJH OPLEMENJIVANJA

Metal	Najmanja potrebna količina %	Moguće iskorištenje %	Kvalitet koncentrata %
Aluminij, Al	30	78...86	99,99
Željezo, Fe	25...30	95...98 ¹ 80...84 ²	30...72 ¹ 40...57 ²
Mangan, Mn	35	70...85	40...56
Krom, Cr	30	~70	45...50
Nikal, Ni	0,25 ³ 0,6 ⁴	~50 ⁵	različito 7...90
Olovo, Pb	3	87...95	62...80
Cink, Zn	3	87...92	43...62
Bakar, Cu	0,5	88...95 ³ 50...70 ⁶	16...38 ³ različito
Kositar, Sn	1 ⁷	70...85	50...75
Antimon, Sb	1,3...1,5	30...70	10...25 ⁶ 25...35 ⁸ 55...65 ³
Srebro, Ag	100 g/t		
Zlato, Au	5...10 g/t		
Pb + Zn (kompleksna ruda)		78...95	50...75 (Pb) 48...62 (Zn)

¹ Bogata ruda, ² Siromašna ruda, ³ Sulfidna ruda, ⁴ Silikatna ruda, ⁵ Izuzetno do 90%, ⁶ Oksidna ruda, ⁷ U naplavinama i manje, do 0,07%, ⁸ Kompleksna ruda

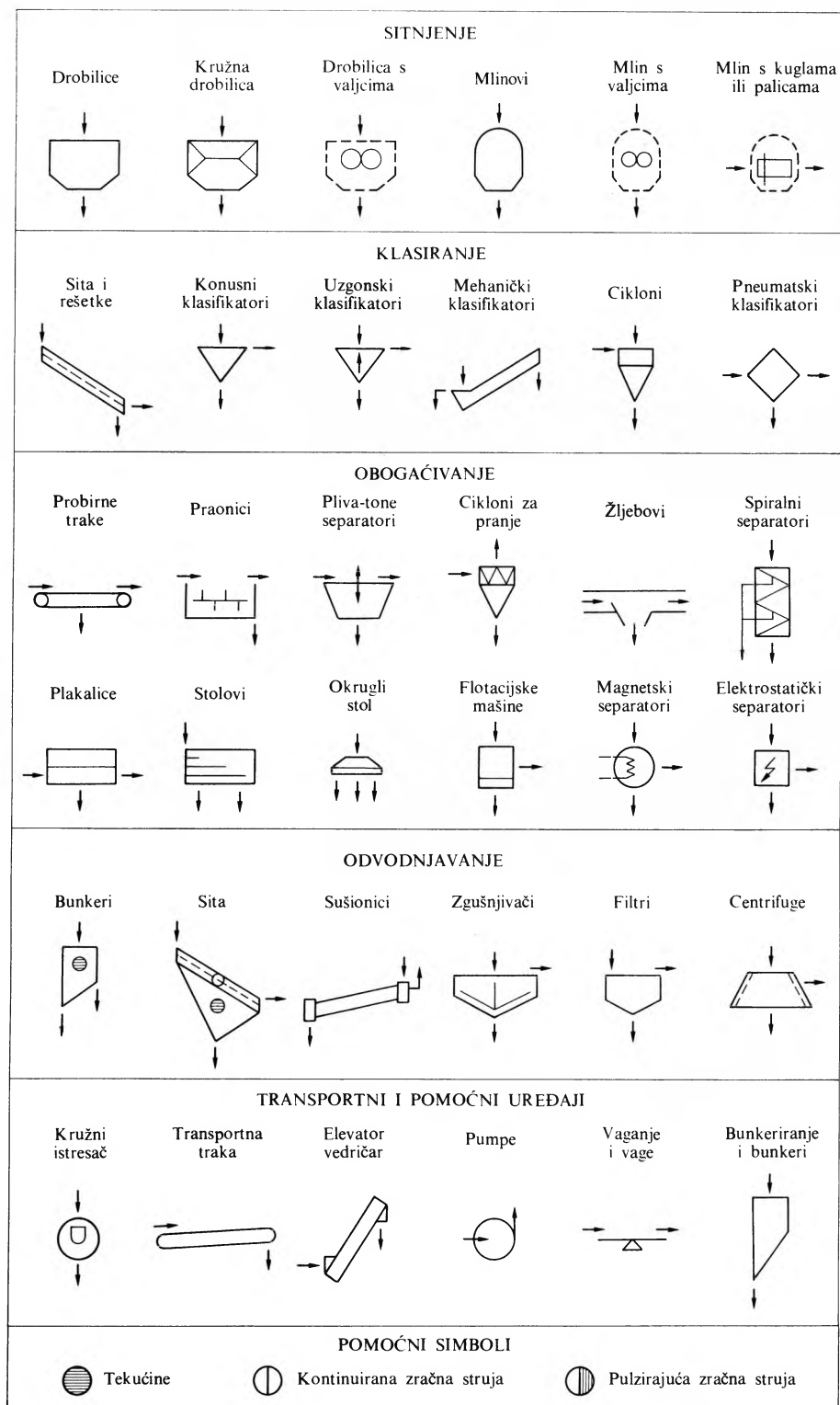
Ima više razloga za snižavanje minimalnog udjela metala u rudi. Glavni su: osiromašenje rudnih ležišta, razblaživanje robne rude (v. *Rudarstvo*), zahtjevi korisnika i relativna ekonomičnost oplemenjivanja. Bogata rudna ležišta u cijelom svijetu gotovo su otkopana, pa se počinju eksploatirati i siromašnija, tj. takva u kojih je sadržina metala sve manja. Na pogoršanje kvalitete



Sl. 3. Rječita tehnološka shema oplemenjivačkog postrojenja za rudu željeza u Varešu (+ odsjev, - prosjev)

rovne rude osim toga djeluje i sve intenzivnija upotreba mehanizacije u rudarstvu radi postizavanja veće produktivnosti. Zbog toga raste udio jalovih stijena, što se naziva razblaživanjem rude, pa oplemenjivačka postrojenja moraju preuzimati na pre-

nija karika, tako da to omogućuje ekonomičnu proizvodnju gotovo svih metala. Svi bi se oni mogli dobiti i neposredno metalurškom preradom (direktnim taljenjem), ali bi to znatno povećalo proizvodne troškove. Zato se ta oplemenjivačka karika



Sl. 4. Osnovni simboli za oplemenjivačke uređaje prema njemačkom prijedlogu iz 1959. god.

radu sirovinu sve slabijeg kvaliteta. Osim toga, krajnji korisnici traže sve kvalitetnije koncentrate ili bar, kao minimalan zahtjev, ravnomjeran, stalan kvalitet isporučivanog produkta. I, konačno, u dugom proizvodnom lancu od rudarskog dobivanja rude do konačne metalurške dorade, oplemenjivanje je mahom najjefti-

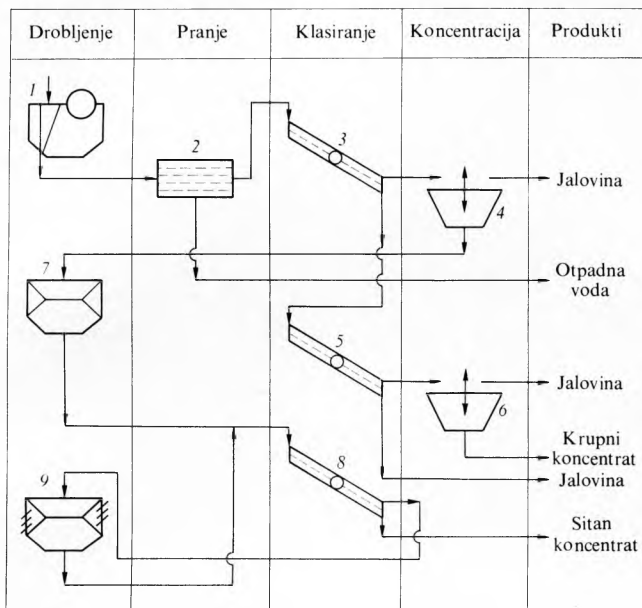
ne može zaobići, već se naprotiv, sve više forsira. Oplemenjivačka je tehnika dosada uspijevala da se prilagodi osiromašenju rudišta, razblaživanju rude i zahtjevima tržišta.

Tehnološke sheme. Oplemenjivački se procesi prikazuju pomoću tehnoloških shema. Najjednostavnije su rječiće ili linearne

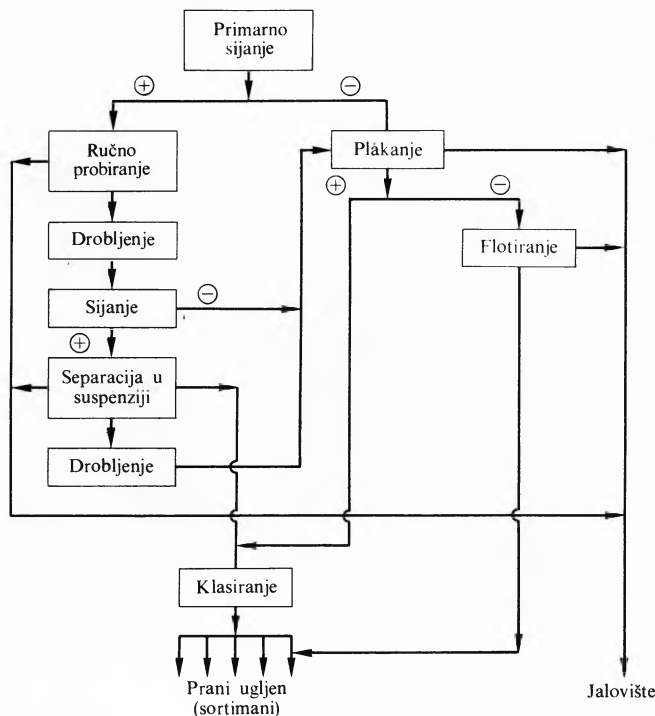
blok-sheme (sl. 3) koje daju osnovne informacije o primijenjenim postupcima, ali bez ikakvih podataka o upotrijebljenim uređajima. U složenijim se shemama ucrtavaju i uređaji, i to simbolima. Simboli nisu standardizirani, ali se veoma mnogo upotrebljavaju simboli prema prijedlogu Društva njemačkih rudara i metalurga iz 1959. god. (sl. 4), ili simboli slični njima. Na sl. 5 prikazano je postrojenje za oplemenjivanje ruda željeza u Varešu koje odgovara shemi na sl. 3, ali pomoću simbola prema spomenutom prijedlogu, i to tzv. *segregacijskom*

shemom kojom se tehnološki tok prerade slijedi po radnim fazama. Takvim će shemama u nastavku biti prikazana tipična postrojenja za oplemenjivanje glavnih mineralnih sirovina s kratkim opisom postupaka koji se danas primjenjuju.

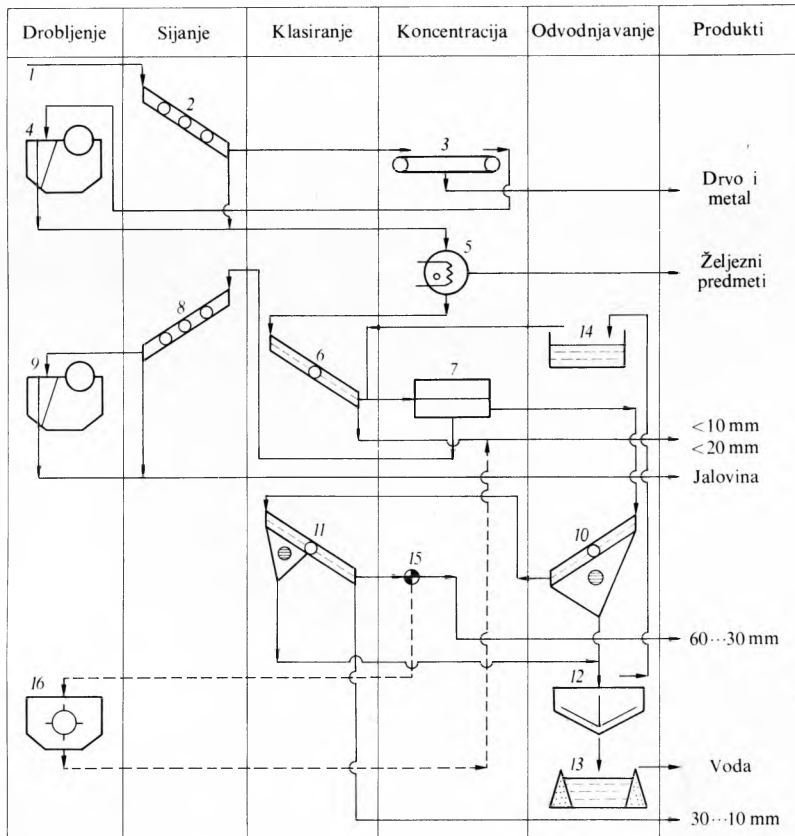
Ugljen se oplemenjuje istim postupcima kao i ostale mineralne sirovine, samo što su uređaji za njegovu preradu obično



Sl. 5. Shema oplemenjivačkog postrojenja za rudu željeza u Varešu (kao sl. 3). 1 čeljusna drobilica, 2 bubnjasti praonik, 3, 5 i 8 vibracijsko sito, 4 i 6 pliva-tone separator, 7 kružna drobilica, 9 sekundarna drobilica



Sl. 6. Kompleksna tehnološka shema prerade ugljena



Sl. 7. Shema postrojenja za preradu ugljena u plakalicama (Plomin, Raša). 1 rovni ugljen, 2 i 8 rešetka, 3 probirna traka, 4 i 9 čeljusna drobilica, 5 magnetski izdvajač željeza, 6 oscilacijsko sito, 7 plakalica s nepokretnim sitom, 10 sito za ocjeđivanje, 11 rezonantno sito, 12 zgušnjivač, 13 taložnik, 14 vodosabirnik, 15 usmjerivač toka, 16 udarna drobilica

se ugljeni mulj bez prethodne pripreme ne može flotirati. Gornja je granica uspješnog flotiranja ugljena 1,5 mm, a izuzetno i 3 mm. Mlađi ugljeni, s drvenastom strukturom, ne mogu se flotirati.

Rude željeza veoma su neravnomjernoga mineraloškog, petrološkog, kemijskog i granulacijskog sastava, pa zato i nema standardnog postupka za njihovo oplemenjivanje. Osim toga, većinu željeznih ruda i ne treba oplemenjivati, jer se one mogu direktno preraditi u visokoj peći. Računa se da se danas oko 60% svjetske proizvodnje ruda željeza oplemenjuje, a da će u dogledno vrijeme taj postotak porasti na 80%. Moguće je da će se uskoro i sve rude željeza oplemenjivati, i bogate i siromašne, i to iz ekonomskih razloga. Ekonomičnost proizvodnje gvožđa u prvom redu zavisi od utroška skupog koksa, a njegova potrošnja može se znatno smanjiti povećanjem sadržine željeza, odnosno smanjenjem jalovine u zasipu (v. *Gvožđe*, TE 6, str. 318). Oba se efekta postižu samo oplemenjivanjem.

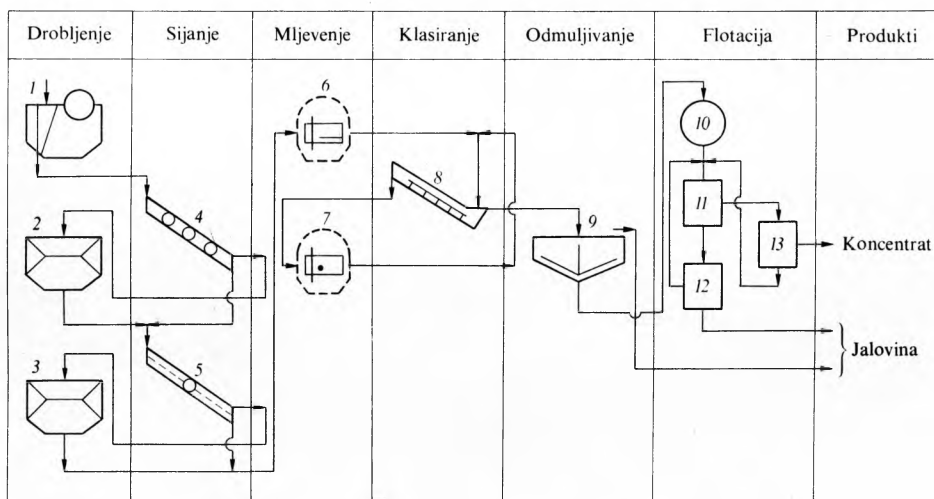
Nema oplemenjivačkog postupka koji nije bio primijenjen u oplemenjivanju ruda željeza. To je razumljivo kako s obzirom na njihov raznovrstan sastav tako i s obzirom na veoma stroge metalurške zahtjeve u pogledu nečistoća u zasipu. Danas su glavni postupci: pranje, koncentracija u suspenzijama i magnetska koncentracija i, podređeno, flotacija.

Rude željeza veoma se često peru, bilo na početku ili u toku prerade, kako bi se oslobodile često prisutnih glinastih i pjeskovitih primjesa, ili pak mulja nastalog sitnjenjem u tehnološkom procesu (sl. 9). Time se uklanja velik dio štetnog SiO_2 i Al_2O_3 . Ponekad je pranje i jedini oplemenjivački postupak, tako se npr. od limonitnih ruda iz nekih rudišta u Ljubiji dobiva koncentrat višestepenim pranjem i završnim klasiranjem. I velik dio sjevernoameričkih bogatih ruda željeza podvrgava se pranju kao jedinom oplemenjivačkom postupku.

tiji koncentrat. Osim toga, svaka se željezna ruda prženjem može učiniti magnetičnom. Tako se prženje karbonata siderita, FeCO_3 , i samo može uzeti kao oplemenjivački proces; on, više nego druge rude, prilikom prženja gubi ugljik-dioksid te se tako obogaćuje željezom, a osim toga gubi štetne primjese sumpor i arsen. Pri prženju hematita, Fe_2O_3 , i limonita, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, nastoji se postići konverzija u umjetni magnetit. To se može postići, ali samo uz visoke troškove jer je prženje skupo. Troškovi prženja su do sada i glavni razlog što taj proces nije prihvaćen kao glavni oplemenjivački proces za rude željeza.

Flotacija je, i pored mnogobrojnih, dugotrajnih i opsežnih ispitivanja i pokušaja, danas praktično ograničena na martite (oksidirane magnetite i spekulirite — modifikacije hematita). Razlozi su tehnološke i financijske prirode. Velika raznovrsnost jalovinskih primjesa znatno komplicira recepturu za reagentne, a često je potrebno odmuljivanje prerađivanog materijala, što ometa flotaciju. Osim toga, flotacija je skupa jer obuhvaća nekoliko faza od kojih je sitnjenje najskuplja faza u oplemenjivanju uopće; ruda je, međutim, jeftina.

Rude mangana. Mangan se nalazi u ~150 minerala, u mnogovrsnim spojevima, pa za oplemenjivanje njegovih ruda nema standardnog postupka. Kako se 90...95% proizvedenog mangana upotrebljava za proizvodnju feromangana, oplemenjivački koncentrat moraju udovoljavati metalurškim zahtjevima. Prema tim zahtjevima sadržina MnO_2 u koncentratu ne smije biti manja od 46%, a sadržina željeza ne smije biti veća od 8%. To se često iskazuje omjerom Mn:Fe, koji ne smije biti manji od 6:1, a teži se da bude 8:1. Najstroži je zahtjev u pogledu fosfora (maksimalna sadržina 0,18%), a taj je u oplemenjivačkom smislu i najteže zadovoljiti. Ipak, povoljna je okolnost da još ima dovoljno bogatih ležišta manganske rude s malom sadrži-



Sl. 9. Shema oplemenjivačkog postrojenja za rude željeza s odmuljivanjem nakon sitnjenja. 1 čeljusna drobilica, 2, 3 kružne drobilice, 4 rešetka, 5 sito, 6 mlin s palicama, 7 mlin s kuglama, 8 klasifikator s grabuljama, 9 zgušnjivač, 10 kondicioner, 11 gruba flotacija, 12 flotacijski prečištači, 13 kontrolna flotacija

Najdjelotvorniji i zato najviše upotrebljavani postupak u oplemenjivanju ruda željeza jeste *koncentracija u suspenziji*, i to zato što se tu, kao u svakom gravitacijskom postupku, iskorišćuje razlika u gustoći komponenata, koja je velika, i što se u pogodnim pliva-tone separatorima mogu preraditi gotovo svi, a osobito krupnozrnati granulati. Tako se i u svim našim separacijama ruda željeza, s izuzetkom Ljubije, ruda preraduje u suspenzijama (Vareš u Bosni, Demir-Hisar i Tajmište u Makedoniji).

Magnetska koncentracija može se smatrati standardnim postupkom u oplemenjivanju čistih magnetita, ali ne i drugih ruda željeza. Čak i u mnogim magnetitskim rudama željezo je veoma neravnomjerno raspodijeljeno u magnetskim i nemagnetskim željezonošnim mineralima, što onemogućuje efikasnu magnetsku separaciju. Ipak, od svih oplemenjivačkih postupaka, magnetska koncentracija ruda željeza daje i najveće iskorišćenje i najboga-

nom fosfora, a istražnim radovima širom svijeta otkrivaju se nova rudišta.

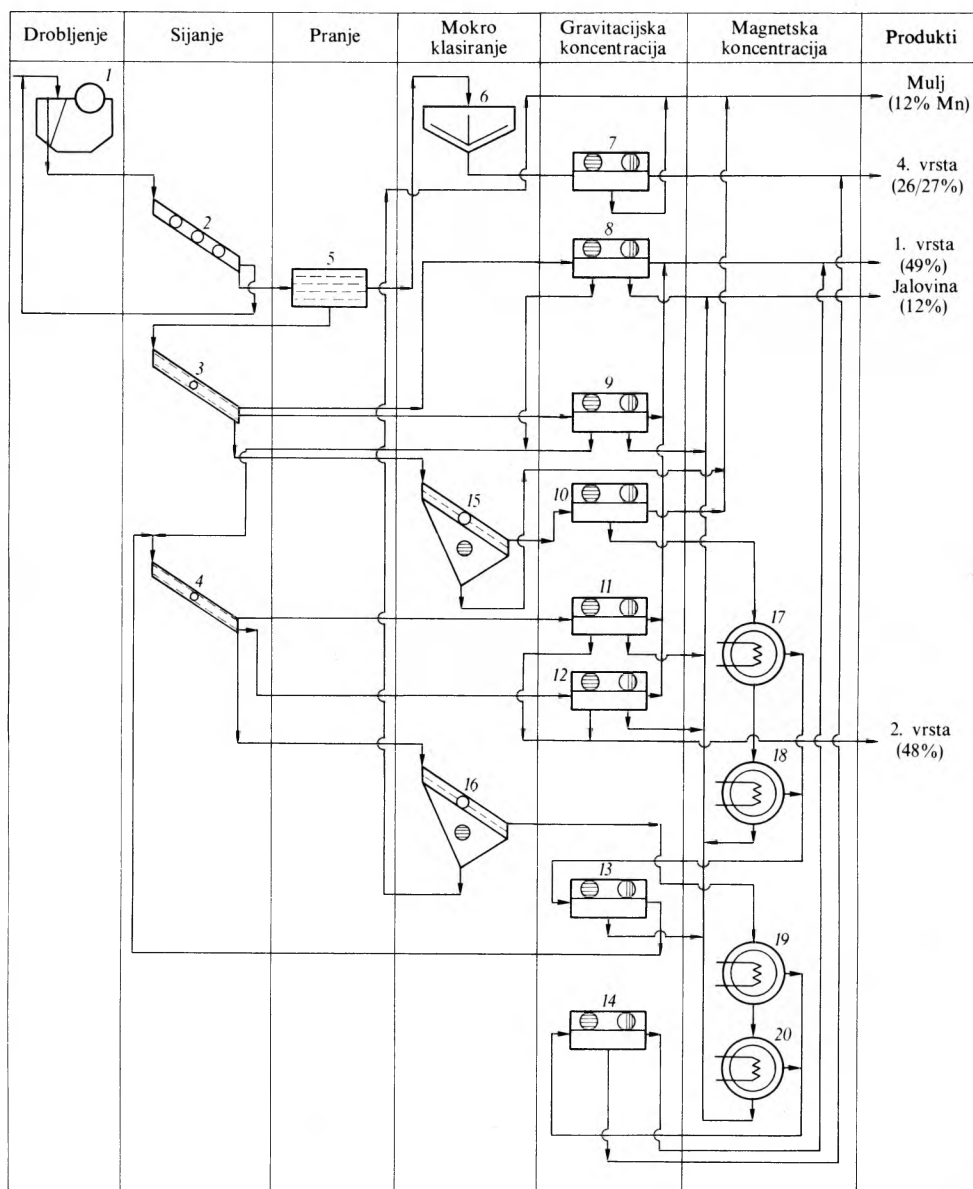
Prije drugoga svjetskog rata oplemenjivanje ruda mangana ograničavalo se na drobljenje, sijanje i pranje, pa je tako ostalo i do pedesetih godina našeg stoljeća. Tek se od tada intenzivnije počinju iskorišćivati i siromašniji rude, naročito u zapadnim zemljama koje nemaju dovoljno manganskih nalazišta. Oplemenjivanje ruda mangana slično je oplemenjivanju ruda željeza. Najviše se primjenjuje *gravitacijska koncentracija*, osobito za preradu krupnih klasa. Za sitne klase dolaze u obzir *magnetska koncentracija i flotacija*. Kako su svi manganski minerali slabomagnetični, moraju se primijeniti separatori s jakim magnetskim poljem (s više od 10 kA/m), pa se danas uglavnom upotrebljavaju indukcijski valjkasti separatori. Flotacija je, kao i u oplemenjivanju željeznih ruda, podređenog značenja, a primjenjuje se za najsitnije klase, manje od 0,2 mm, i za mulj.

Na sl. 10 prikazano je jedno od nekoliko oplemenjivačkih postrojenja u Čijaturi u Gruziji, najvećem nalazištu ruda mangana u svijetu. Koncentrati se dobivaju, nakon pranja radi uklanjanja mulja, osmostepenom preradom u plakalicama, a mokrom se magnetskom koncentracijom u posljednjim stepenima izdvajaju magnetske komponente iz kojih se završnim plákanjem dobivaju i preostale frakcije koncentrata.

Uklanjanje fosfora iz ruda mangana nije riješeno. On je gotovo uvijek fino dispergirani u rudi, a može se donekle odstraniti ako se pretežan dio nalazi u jalovini pa se gubi prilikom pranja.

toliko velik da je uspješna gravitacijska separacija moguća i za veoma fine klase (čak i do 0,05 mm). Ipak, za preradu najfinijih zrna ponekad se primjenjuje i *flotacija*, npr. kad se međuprodukti gravitacijske koncentracije moraju naknadno sitniti radi dopunskog raščina. Takav je postupak prikazan na sl. 11.

I *magnetska koncentracija* primjenljiva je u prisustvu magnetita koji se tim postupkom može izdvojiti iz koncentrata dobivenih gravitacijskom koncentracijom. Tako se poboljšava omjer Cr:Fe koji za metalurške potrebe ne smije biti manji od 3:1 (v. *Krom*, TE 7, str. 380).

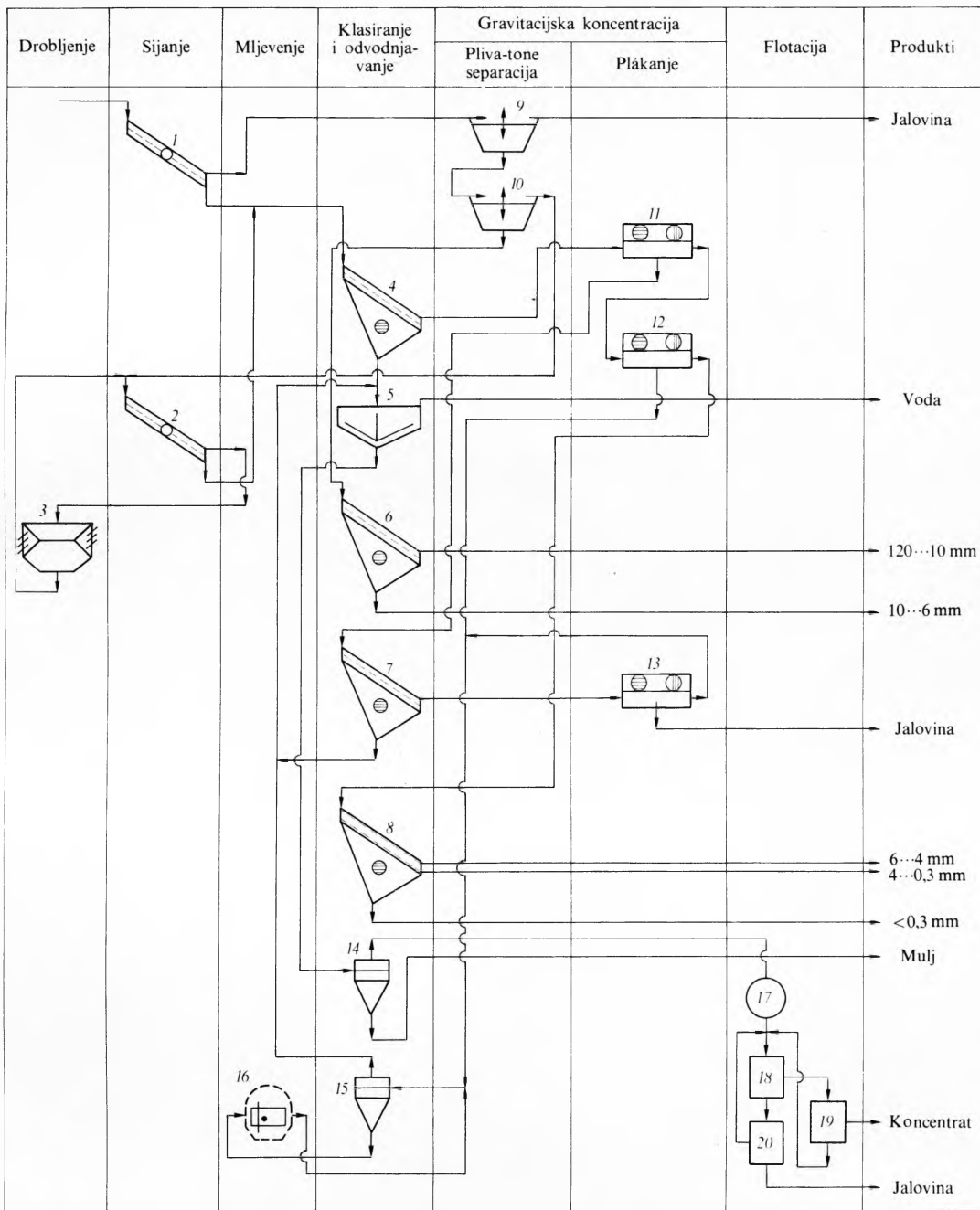


Sl. 10. Shema prerade rude mangana u Čijaturi, 1 čeljusna drobilica, 2 rešetka, 3 i 4 dvoetažna sita, 5 bubnjasti praonik, 6 zgušnjivač, 7 do 14 plakalice, 15 i 16 sita za odvodnjavanje, 17 do 20 magnetski separatori

Rude kroma. Od ruda kroma jedino mineral kromit, $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, ima ekonomsko značenje. On obično sadrži kroma u tolikoj količini da neko oplemenjivanje i nije potrebno. Prema metalurškim standardima, sadržina Cr_2O_3 u rudi za proizvodnju ferokroma ne smije biti manja od 48%, a veći dio u svijetu proizvedene rude sadrži i više, ponekad i 58% (Turska, Iran, SSSR, Nova Kaledonija). Oplemenjuju se siromašne rude, u kojih sadržina kromita iznosi 30...40% Cr_2O_3 .

Glavna je oplemenjivačka metoda *gravitacijska koncentracija*, jer je omjer gustoća rude i jalovine (4,5...4,8:2,7...3,0 g/cm³)

Rude nikla mogu biti sulfidne (kanadska i sovjetska nalazišta), silikatne (novokaledonska nalazišta) i lateritne (kubanska nalazišta). Danas se oplemenjuju samo sulfidne rude, iako silikatno-lateritna nalazišta i po geološkim rezervama i po količini u njima sadržanog metala daleko premašuju sulfidna nalazišta. Osnovni je razlog za to što, i pored intenzivnih proučavanja, još nema pouzdane razrađene tehnologije za oplemenjivanje silikatno-lateritnih ruda. Takvi postupci nisu razvijeni i zbog toga jer se sve bogate rude nikla, a to su već i rude s više od 2% Ni, mogu direktno metalurški preraditi. Osim toga,



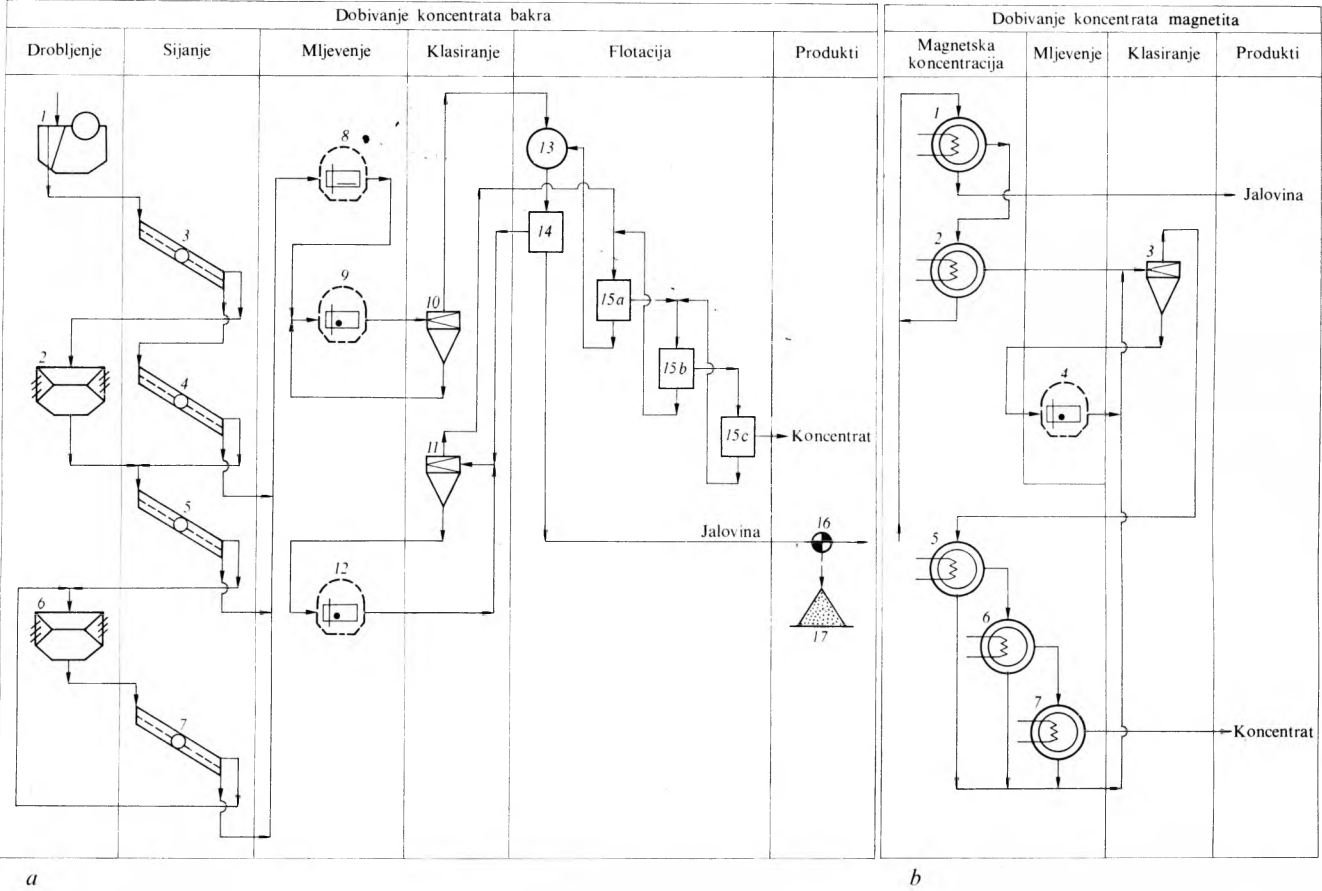
Sl. 11. Shema prerade kromita u Raduši. 1 i 2 oscilacijska sita, 3 Symonsova drobilica, 4, 6 i 7 sita za odvodnjavanje, 5 zgušnjivač, 8 dvoetažno sito za odvodnjavanje, 9 i 10 pliva-tone separatori, 11, 12, 13 plakalice, 14 i 15 cikloni — zgušnjivači, 16 mlin s kuglama, 17 kondicioner, 18 grubo flotacija, 19 flotacijski prečištači, 20 kontrolna flotacija

sve se siromašne sulfidne rude (s manje od 2% Ni) mogu oplemeniti *flotiranjem*. Sve to za sada osigurava podmirenje svjetskih potreba nikla.

Sulfidne rude nikla obično se javljaju u složenim paragenetama. Tako se u jednom od najvećih svjetskih nalazišta, kanadskom Sudburyju, mineral pentlandit, $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$, nalazi zajedno sa željezom, bakrom, kobaltom, platinskim metalima, titanomagnetitom, srebrom, olovom, cinkom i još nekim drugim metalnim i nemetalnim mineralnim primjesama. Time se otežava i flotacija, pogotovo jer su neke komponente međusobno srasle (npr. pentlandit i pirotin) ili im je flotabilnost veoma slična, ali se zato, osim koncentrata nikla, dobivaju i koncentri bakra i pirotina. Još neposredno prije prošlog rata, ta su nalazišta davala i oko trećine svjetske proizvodnje platine. Takvo kompleksno iskorištavanje sulfidnih ruda nikla ponekad opravdava eksploataciju i veoma siromašnih nalazišta, čak i onih s manje od 0,20% Ni.

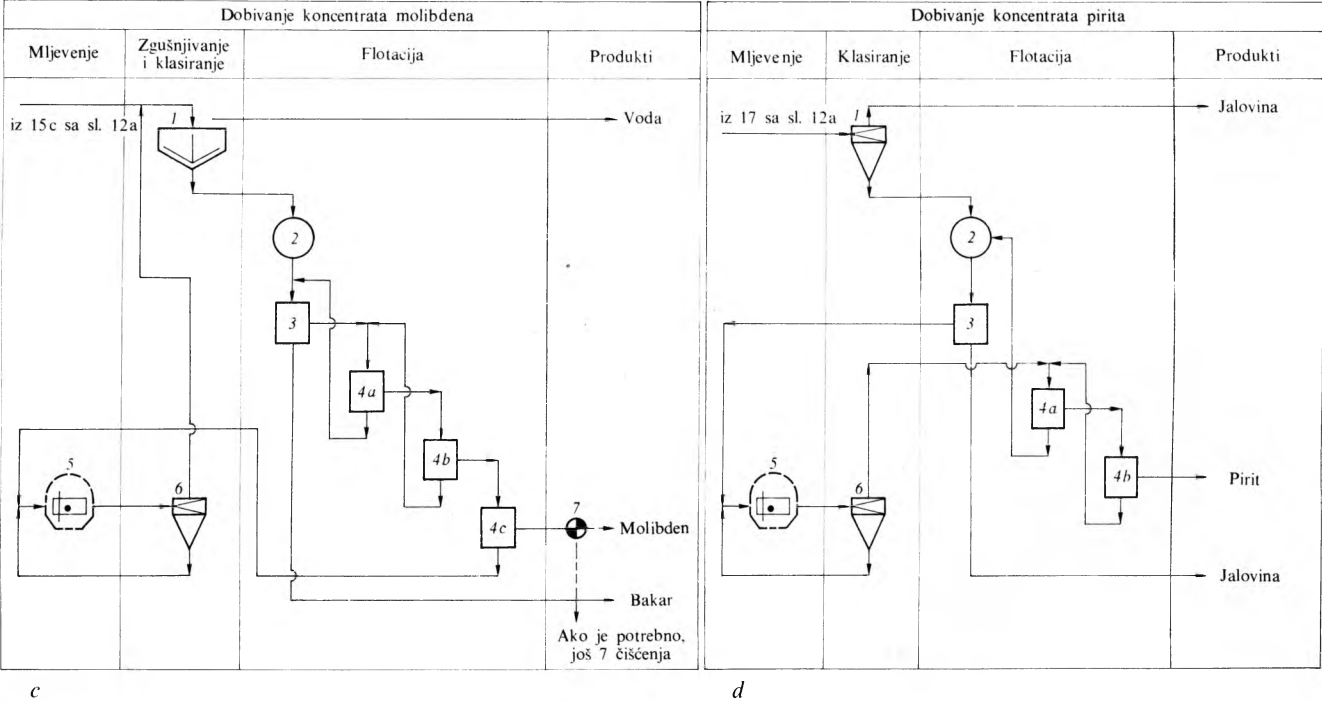
U oplemenjivanju oksidno-silikatno-lateritnih ruda postignuti su u najnovije vrijeme neki početni uspjesi kombinacijom pirometalurških i oplemenjivačkih postupaka. Ruda se nakon intenzivnog sitnjenja (95% zrna manjih od 0,074 mm) prži, pa se zatim prženac, eventualno nakon ponovnog sitnjenja, flotira. Glavni je problem te procedure potrebna visoka temperatura (i do 1000 °C), koja prelazi temperature u uobičajenim pržnim pećima (maksimalno, 900 °C). Problem oplemenjivanja takvih ruda još nije riješen.

Rude bakra veoma su raznovrsne u tom smislu što se mogu naći u parageneti s gotovo svim metalnim i gorotvornim mineralima. Nasuprot toj genetskoj i mineraloškoj raznovrsnosti, njihovo je oplemenjivanje veoma jednostavno i svodi se, s rijetkim izuzecima, na *flotaciju* i, također još rijetko, na *hidrometalurško luženje*. S obzirom na bogatu paragenezu, često se, uz bakar, iz rude izdvajaju i drugi korisni minerali, mahom također flotiranjem, ali ponekad i drugim postupcima, npr.



Dobivanje koncentrata bakra. 1 čeljusna drobilica, 2 i 6 Symonsove drobilice, 3, 4, 5 i 7 oscilacijska sita, 8 mlin sa šipkama, 9 i 12 mlinovi s kuglama, 10 i 11 hidrocikloni — klasifikatori, 13 kondicioner, 14 gruba flotacija, 15a, 15b, 15c flotacijsko čišćenje, 16 usmjerivač toka, 17 jalovište

Dobivanje koncentrata magnetita (uprošćena shema). 1 magnetski separator za dobivanje grubog koncentrata magnetita, 2 magnetski separator za prvo čišćenje koncentrata, 3 ciklon — klasifikator, 4 mlin s kuglama, 5, 6, 7 magnetski separatori za trostepeno čišćenje koncentrata



Dobivanje koncentrata molibdena, 1 zgušnjivač, 2 kondicioner, 3 gruba flotacija, 4a, 4b, 4c flotacijsko čišćenje, 5 mlin s kuglama, 6 hidrociklon — klasifikator, 7 usmjerivač toka

Dobivanje koncentrata pirita. 1 hidrociklon — klasifikator, 2 kondicioner, 3 gruba flotacija, 4a i 4b flotacijsko čišćenje, 5 mlin s kuglama, 6 hidrociklon — klasifikator

Sl. 12. Shema flotacije bakra u Majdanpeku

magnetskom koncentracijom (magnetit, titan). Kao primjer na sl. 12 prikazana je najveća evropska flotacija bakra (u Majdanpeku). U shemu su unesena i projektirana postrojenja za dobivanje pirita i molibdena koja će biti u pogonu tek za koju godinu. Kao što se vidi, magnetit i pirit dobivaju se iz flotacijske jalovine. U skladu s paragenezom, iz takve se jalovine (nakon flotiranja bakrene rude) ponekad dobivaju i drugi minerali, npr. titan, pa i uran i torij.

Luženje dolazi u obzir samo za siromašne rude u velikim količinama, i to prvenstveno za oksidne, zatim za kompleksne oksidno-sulfidne rude i rude sa samorodnim bakrom. Uglavnom se primjenjuje perkolacijsko luženje a postiže se iskorišćenje do 90% za oksidne, odnosno do 70% za sulfidne rude.

Rude olova i cinka gotovo se uvijek javljaju zajedno. U svijetu ima samo nekoliko znatnijih nalazišta samoga olova odnosno samoga cinka. I u takvim monometalnim rudnicima oplemenjivački se postupci načelno ne razlikuju od onih u rudnicima s kompleksno olovno-cinkovom rudom, samo što se od monometalnih ruda dobiva jedan koncentrat, dok se iz kompleksnih ruda dobiva nekoliko koncentrata. To su koncentri svih onih korisnih minerala što ih rudna paragenaza sadrži.

Primjer za prerađu kompleksne olovno-cinkove rude vidi se na sl. 13. Kao što se vidi, u trepčanskoj flotaciji u Zvečanu dobivaju se četiri koncentrata, i to olova, cinka, pirotina i pirita, a neko se vrijeme dobivao i koncentrat bakra. Standardna shema za olovno-cinkovu rudu prikazana je na sl. 14. Usporedbom obiju shema (sl. 13 i 14) vidjet će se da, u načelu, među njima nema razlike: obje se rude *flotiraju*, samo što trepčanska, kao složenija, iziskuje intenzivnije sitnjenje i više stepena čišćenja grubog flotacijskog koncentrata. Osim toga, iz

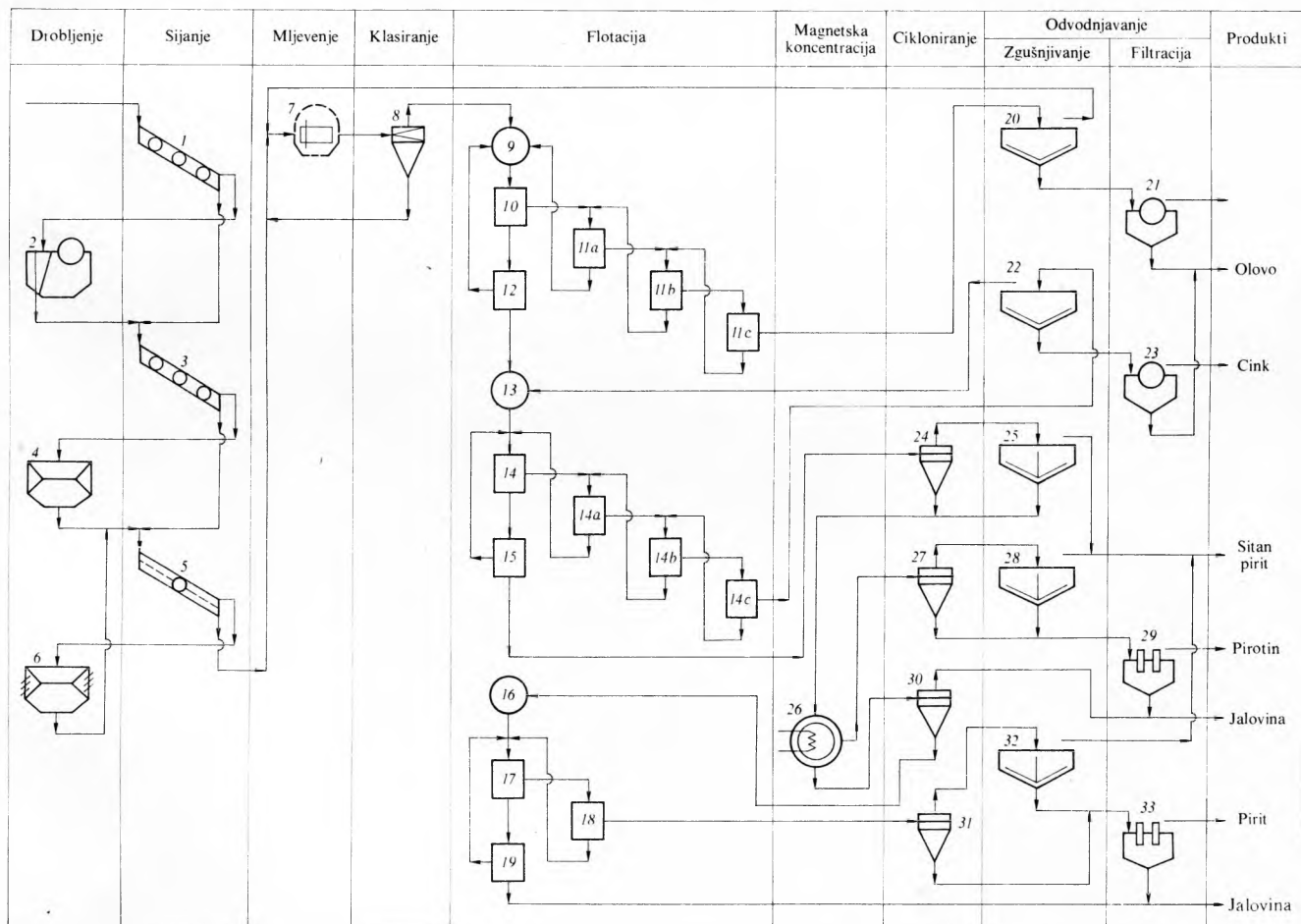
trepčanske se rude *magnetskom koncentracijom* dobiva koncentrat pirotina, što je rijetka primjena tog postupka.

Flotacija je gotovo univerzalan oplemenjivački postupak za olovno-cinkove rude. Rjeđe se primjenjuje *gravitacijska koncentracija* (plakalice i, mnogo rjeđe, stolovi), ali jedna grupa tih postupaka, *koncentracija u suspenziji*, u posljednje vrijeme dobiva na značenju, i to za tzv. pretkoncentraciju radi odvajanja jalovine prije obogaćivanja u užem smislu. Tako se, npr., u Mežici u bubnjastom pliva-tone separatoru prije flotiranja odvaja oko 60% ukupne ulazne sirovine kao jaloovina, što uvelike rasterećuje flotaciju.

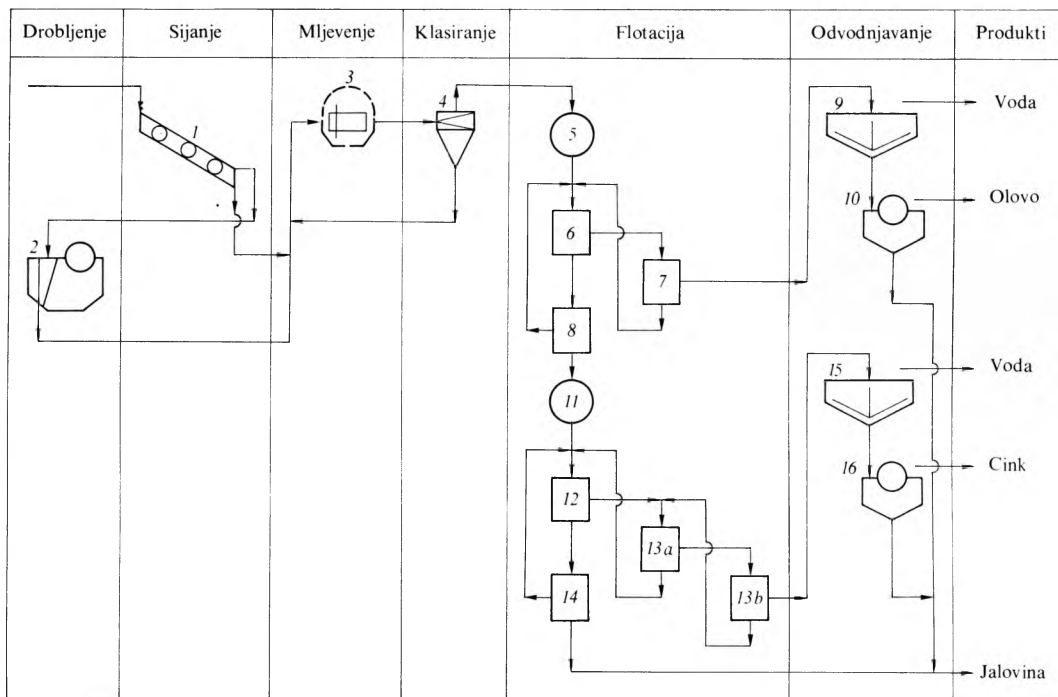
Rude antimona mogu biti jednostavne, s antimonitom ili stibnitom, Sb_2S_3 , kao glavnim mineralom, ili kompleksne, kao što su ležišta antimonsko-žvinih, arsenko-antimonskih, bakreno-antimonsko-sulfidnih, srebro-antimonsko-sulfidnih ruda, te kvarcno-zlatonosne žice s antimonskim udjelom i druge kompleksne sulfidne i oksidne rude obojenih i rijetkih metala. Najveći se dio svjetske proizvodnje antimona temelji na jednostavnim antimonitskim rudama, a dio se dobiva kao nusprodukt iz prerade sirovog olova.

U principu, sulfidne se rude mogu oplemeniti flotiranjem, a oksidne gravitacijskom koncentracijom, ali u praksi najčešće to nije tako jednostavno, jer kompleksne sulfidne rude, zbog prisustva različito flotabilnih komponenata (npr. željeza, nikla, pirita, arsena), često iziskuju sortiranje u fazama. U svakoj se fazi gubi dio antimona, pa je ukupno iskorišćenje (R) antimona u finalnom koncentratu nisko.

Sadržina antimona u eksploatabilnim rudama varira u širokim granicama, od 1% pa do gotovo 71,5%, što je teorijska sadržina antimona u antimonitu. Zato prema sadržini metala



Sl. 13. Shema prerade olovno-cinkove rude u Zvečanu. 1 i 3 rešetke, 2 čeljusna drobilica, 4 kružna drobilica, 5 oscilacijsko sito, 6 Symonsova drobilica, 7 mlin s kuglama, 8 hidrociklon — klasifikator, 9 do 12 flotacijski ciklus olova (9 kondicioner, 10 gruba flotacija, 11a, 11b, 11c flotacijsko čišćenje, 12 reflotacija), 13 do 15 flotacijski ciklus cinka (13 kondicioner, 14 gruba flotacija, 14a, 14b, 14c flotacijsko čišćenje, 15 reflotacija), 16 do 19 flotacijski ciklus pirita (16 kondicioner, 17 gruba flotacija, 18 čišćenje, 19 reflotacija), 20, 22, 25, 28 i 32 zgušnjivači, 21 i 23 bubnjasti filteri, 24, 27, 30 i 31 hidrocikloni — zgušnjivači, 26 magnetski separator za izdvajanje pirotina, 29 i 33 filteri s diskovima

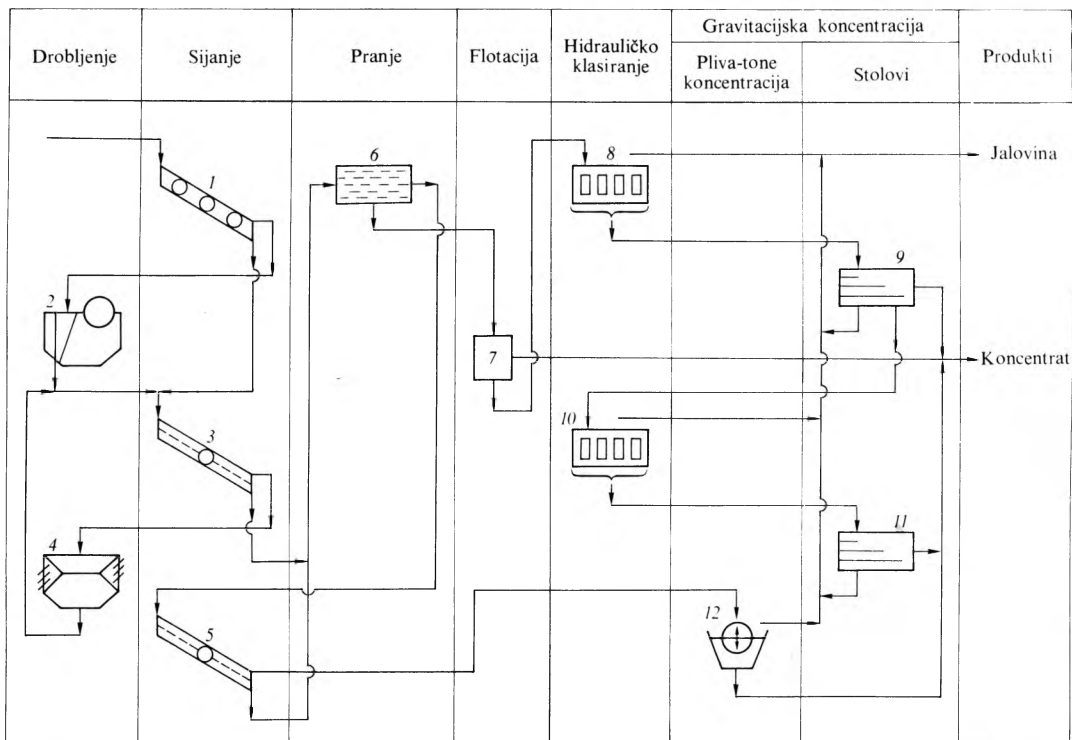


Sl. 14. Standardna shema prerade olovno-cinkove rude. 1 rešetka, 2 čeljusna drobilica, 3 bubnjasti mlin, 4 hidrociklon — klasifikator, 5 do 10 flotacijski ciklus olova (5 kondicioner, 6 gruba flotacija, 7 čišćenje, 8 reflatacija, 9 zgušnjivač, 10 bubnjasti filter), 11 do 16 flotacijski ciklus cinka (11 kondicioner, 12 gruba flotacija, 13a i 13b čišćenje, 14 reflatacija, 15 zgušnjivač, 16 bubnjasti filter)

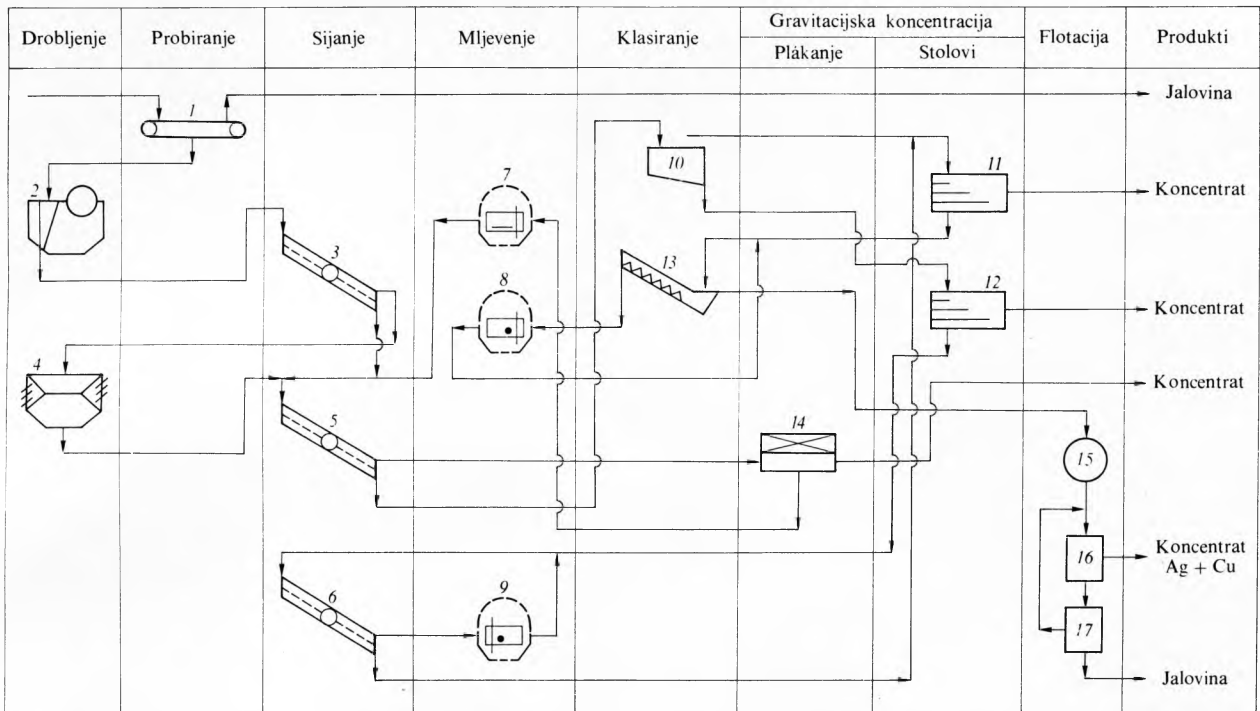
i nema pouzdane podjele na siromašne i bogate rude, nego se značenje tog pojma prilagođuje prilikama. Tako se u Kini, zemlji sa tri četvrtine ukupnih svjetskih rezervi antimona (oko 7 milijuna tona), rude sa 6...24% Sb ručno probiru, pa se tako dobivaju koncentri sa 50...55% Sb. Te su rude po nekim autorima bogate, a po drugima siromašne.

Flotacija je, kako je rečeno, glavna, i uspješna, metoda oplemenjivanja za sulfidne rude. Oksidne rude antimona spa-

daju u malu skupinu mineralnih sirovina koja se još nije uspjela flotirati u industrijskom mjerilu. Za njih za sada dolazi u obzir samo *gravitacijska koncentracija*, eventualno s intermedijarnim flotiranjem sitnih klasa. Takvim, relativno kompliciranim, postupcima prerađuje se oksidna antimonska ruda (sa 65...70% oksida) u Brasini kod Zajače u zapadnoj Srbiji (sl. 15). Dobiveni koncentrat sadrži 11...20% Sb.



Sl. 15. Shema prerade oksidne antimonske rude u Brasini. 1 rešetka, 2 čeljusna drobilica, 3 i 5 oscilacijska sita, 4 Symonsova drobilica, 6 bubnjasti praonik, 7 flotacija, 8 i 10 klasifikatori tipa Fahrenwald, 9 i 11 koncentracijski stolovi, 12 pliva-tone separator



Sl. 16. Shema prerade uranske rude u Eldoradu u Kanadi. 1 probirna traka, 2 čeljusna drobilica, 3, 5 i 6 sita, 4 Symonsova drobilica, 7 mlin s palicama, 8 i 9 mlinovi s kuglama, 10 i 13 klasifikatori sa spiralom, 11 i 12 koncentracijski stolovi, 14 klipna plakalica, 15 do 17 flotacijski ciklus pratećeg srebra (15 kondicioner, 16 gruba flotacija, 17 refloatacija)

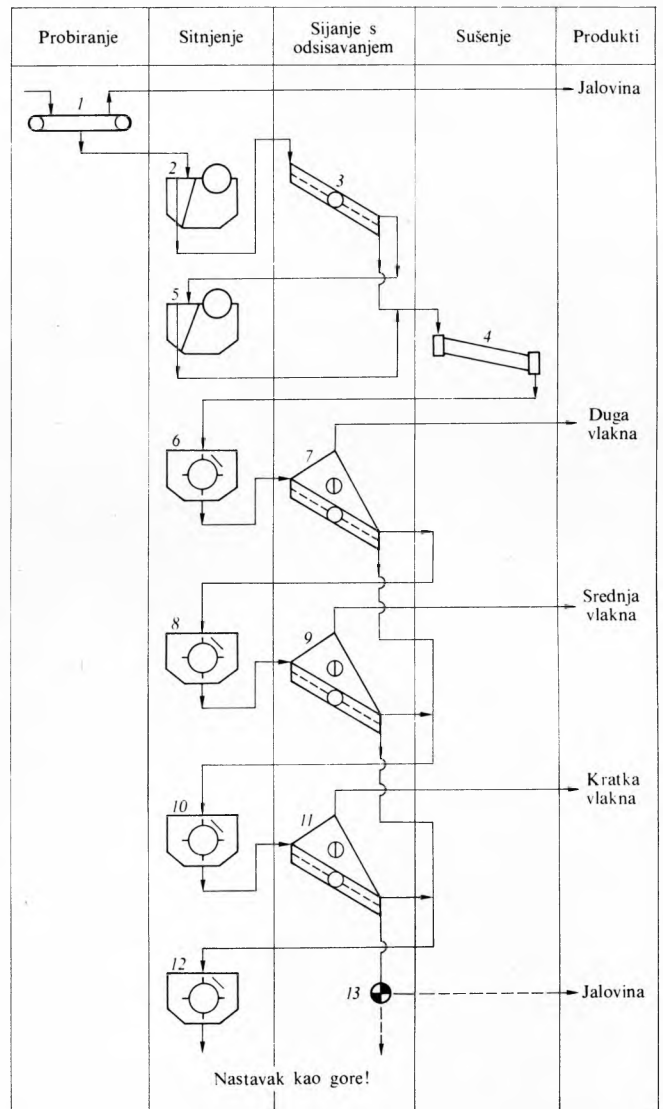
Rude urana. Iz ruda urana finalni korisni produkt U_3O_8 , žuti kolač, dobiva se kombinacijom oplemenjivačkih i metalurških postupaka, pri čemu među njima nema oštre granice. Tehnološka shema obuhvaća tri faze: oplemenjivanje, luženje i izdvajanje uranovog oksida iz sirove lužine; ponekad se, radi poboljšanja topljivosti, sirovina prži prije luženja. Oplemenjivanje je prvi tehnološki stepen u tom smislu što se njime ne dobiva finalni koncentrat nego tek pretkoncentrat.

Sve su komercijalne rude urana siromašne. Najbogatije sadrže ~0,4% U_3O_8 , a u Južnoafričkoj Republici otkopavaju se i rude sa 0,034% U_3O_8 , ali one sadrže i zlata.

Postoji mnogo minerala nosilaca urana, čak više od 150, ali je ekonomski najvažniji *uraninit* ili uranski smolinac, u stvari fosfat urana, s primjesama niza drugih elemenata (Ca, S, Ra, Co, Bi, Ce, Th, Br i dr.). U obzir kao ruda dolazi i karnotit, uranski vanadat, također s mnogobrojnim primjesama. Struktura uranskih minerala krajnje je složena, često porfirna (v. *Petrografija*), a orudnjenja su impregnacijskog tipa (v. *Rudna ležišta*). Sve to, složenost kemijskog i mineraloškog sastava i strukture, te tipa ležišta, znatno otežava preradu uranskih ruda. Prisustvo mnogih korisnih minerala, međutim često upućuje na dobivanje i tih komponenata iz rude, što može znatno sniziti ukupne troškove prerade.

Za oplemenjivanje uranskih ruda upotrebljavaju se radiometrijski, gravitacijski i flotacijski postupci. *Radiometrijska koncentracija* zasniva se na prirodnoj radioaktivnosti uranskih ruda. U tu svrhu iskorišćuje se γ -zračenje. Uređaj tipa Lapointe sastoji se od trake po kojoj se uskoklasirani komadi rude propuštaju pored indikatora intenzivnosti zračenja. Registrira li se intenzivnost različita od određene vrijednosti, taj se komad izbacuje sa staze, a neaktivna se zrna iznose trakom iz uređaja.

Kako svi uranski minerali imaju veliku gustoću (uraninit 11 g/cm³, a najlakši minerali ~3 g/cm³), *gravitacijska koncen-*



Sl. 17. Tipična kanadska shema za dobivanje azbesta. 1 probirna traka, 2 i 5 čeljusne drobilice, 3 oscilacijsko sito, 4 bubnjasti sušionik, 6, 8, 10 i 12 udarne drobilice, 7, 9 i 11 sita s odsisavanjem vlakana, 13 usmjerivač toka

tracija je primjenljiva, osim za vrlo sitne klase. Zbog toga se neke uranske rude (npr. neke karnotitske rude) koje se drobljenjem suviše sitne, ne mogu preraditi tim postupcima.

Flotacija može biti direktna, za dobivanje uranskog koncentrata, i indirektna, za dobivanje u rudi prisutnih štetnih ili korisnih primjesa. Primjese štetne za naredno luženje mogu biti karbonati, sulfidi i organski spojevi, a korisne su primjese mnogi minerali koji se nalaze u uranskim rudama. Na sl. 16 prikazana je shema prerade uranske rude u nekadašnjem kanadskom rudniku zlata Eldorado. Danas je to značajan rudnik urana, ali se, kako se na shemi i vidi, uz uranski koncentrat dobiva, flotacijom, i koncentrat srebra s nešto bakra. Uranski koncentrat dobiva se gravitacijskom koncentracijom u plakalicama i na stolovima.

Za dalje faze prerade uranskih ruda, luženje i dobivanje žutog kolača, v. *Uran*, v. *Nuklearna goriva*.

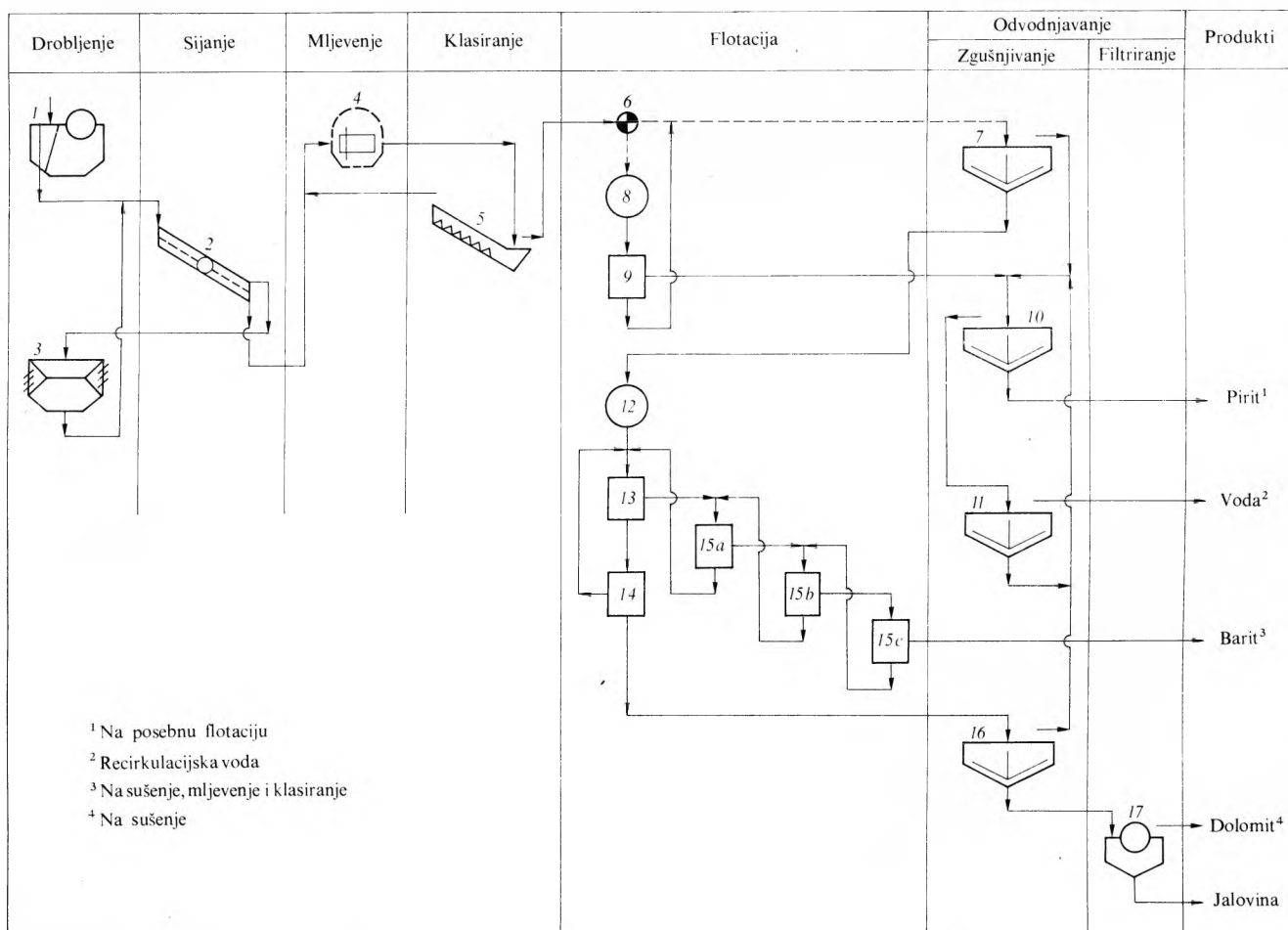
Nemetalne sirovine. Za oplemenjivanje nemetalnih sirovina (industrijskih minerala) primjenjuju se, u načelu, isti postupci kao i za oplemenjivanje metalnih ruda, ali ima i nekih specifičnih postupaka. To su, u prvom redu, postupci za preradu sirovina za dobivanje azbesta i dijamanta. Osim toga, katkada su neki uređaji, npr. za sitnjenje, prilagođeni svojstvima sirovine i zahtjevima potrošača.

Azbest se pretežno (~95% svjetske proizvodnje; v. *Azbest*, TE 1, str. 633) dobiva kao hrizotilski azbest kome je matična stijena serpentin. Kako su kemijski sastav i gustoća tog azbesta i serpentina približno jednaki, a imaju i mnoga druga slična fizikalna svojstva, za oplemenjivanje ne dolaze u obzir ni gravitacijska koncentracija, ni flotacija, ni magnetska koncentracija (iako je baš s potonjom bilo donekle uspješnih pokušaja u nas, u Stragarima). Osnovna je poteškoća u oplemenjivanju azbesta

potreba da se očuvaju što duža vlakna sirovine. Osim toga, oplemenjivanjem treba potpuno ili bar maksimalno izdvojiti vlakna iz rude, što potpunije ih oprati i dobiti oplemenjena vlakna što veće i što jednoličnije dužine. Mogući su mokri i suhi postupci, ali se danas primjenjuju gotovo samo suhi postupci. **Suhi postupak** sastoji se u uzastopnom naizmjeničnom drobljenju i sijanju sirovine, s tim da se vlakna izdvajaju iza svakog stepena sijanja. Posebno duga vlakna mogu se ručno probati. Sirovina se suši prije ili poslije odnosno i prije i poslije primarnog drobljenja (tzv. aspiracija). Drobljenje je obično uspješno jer je prateća stijena mahom krtija od azbesta, tako da se dobiva dovoljno oslobođenog vlakna koje se može pneumatski odsisati. Sitnije se frakcije obično pripremaju za odsisavanje prethodnim klasiranjem. Na sl. 17 prikazana je uprošćena tipična shema prerade azbestne sirovine u Kanadi, najvećem svjetskom proizvođaču azbesta.

Barit se uglavnom dobiva iz bogatih ruda, bez oplemenjivanja. Ukoliko rudu treba oplemeniti, kao npr. u nas, u obzir dolaze praktično svi oplemenjivački postupci, što zavisi od svojstava rude i primjesa u njoj.

Iz rezidualnih ležišta (v. *Rudna ležišta*) barit se najprije oslobađa ilovače pranjem, pa se **ručnim probiranjem** dobivaju krupna zrna. **Gravitacijska koncentracija** često se primjenjuje. Pri dovoljno velikom koncentracijskom kriteriju, ruda se obično prethodno drobi, a pri malom, ruda se klasira. Radi se i s plakalicama i stolovima, dok se koncentracija u suspenziji upotrebljava rjeđe. Za rudu sa željezovitim primjesama, kao što su siderit ili limonit, primjenjuje se **magnetska koncentracija**, i to visoke intenzivnosti. **Flotacija** se upotrebljava kad je ruda sitnozrnata i kad u rudi ima sulfidnih primjesa. Praktična je gornja granica veličine zrna 0,2 mm, iako zrna barita flotiraju i do veličine od



Sl. 18. Shema prerade barita u Ričicama (Lika). 1 čeljusna drobilica, 2 oscilacijsko sito, 3 Symonsova drobilica, 4 mlin s kuglama, 5 klasifikator sa spiralom, 6 usmjerivač toka, 7, 10, 13 i 16 zgušnjivači, 8 i 9 flotacijski ciklus pirita (8 kondicioner, 9 gruba flotacija), 12 do 15 flotacijski ciklus barita (12 kondicioner, 13 gruba flotacija, 14 reflotacija, 15a, 15b, 15c čišćenje), 17 bubnasti filter

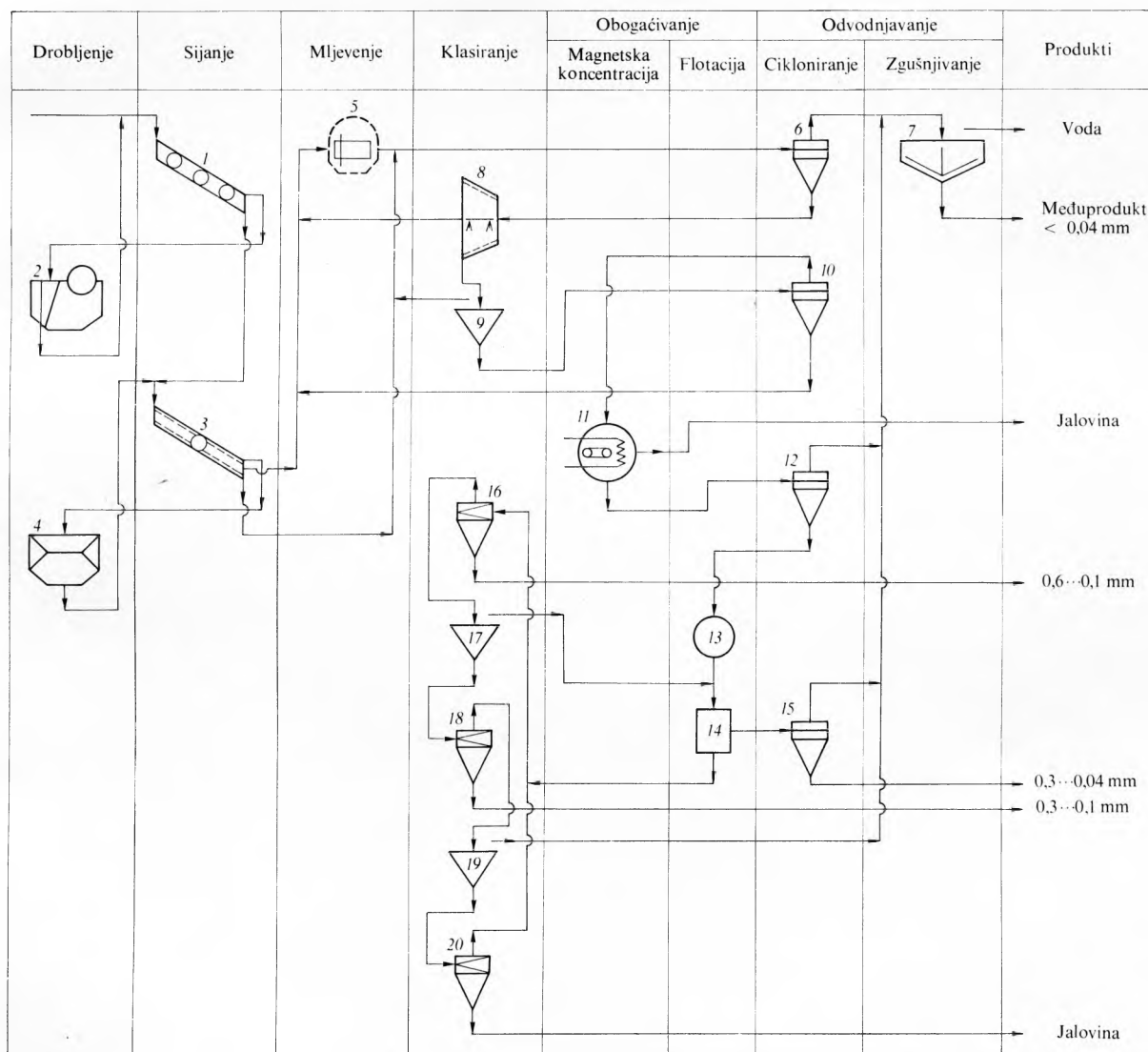
0,5 mm, ali vrlo teško zbog velike gustoće sirovine. U sulfidnih ruda najprije se flotiraju sulfidi; tu je povoljno što barit ne flotira sa ksantatima. Kalcit i dolomit odvajaju se od barita vrlo teško jer su sličnih flotacijskih svojstava. Flotacijsko odvajanje česte primjese fluorita najteža je operacija u flotaciji barita, ali je fluorit korisna komponenta, pa se prihvaćaju i složene tehnološke sheme. Na sl. 18 prikazana je shema prerade barita u Ričicama u Lici. Tamošnji barit sadrži u prosjeku 2,3% pirita, FeS_2 , i taj se sulfid posebno flotira.

Kvarcni pijesak jeftina je sirovina, ali su zahtjevi nekih industrijskih grana s obzirom na čistoću i različite druge karakteristike često veoma strogi. Osim toga, i ležišta su raznovrsna. U većini je pijesak nevezan, ali u mnogim je kalcitskim ili drugim vezivima stvrdnut u pješčenjake. Konačno, među mnogobrojnim primjesama u pijesku može biti i korisnih koje bi trebalo iskoristiti (npr. tinjac, cirkon, rutil, granat, apatit, turmalin i dr.). Zbog svega toga, oplemenjivanje je kvarcnog pijeska komplicirano.

gled nalazi se u tabl. 4. Primjenjuje li se *flotacija*, ona je obično obrnuta, tj. flotiraju se primjese, a kvarcni pijesak odlazi u otok. Kako se flotiranjem mijenja samo kemijski a ne i granulometrijski sastav, produkt se radi dobivanja traženih sorti-

Tablica 4
OPLEMENJIVAČKI POSTUPCI ZA KVARCNI PIJESAK PREMA PRIMJESAMA

Primjesa	Oplemenjivački postupak
Glinasti minerali	Pranje (eventualno s prethodnim odmuljivanjem)
Zrnati materijal	Klasifikacija (ako se primjese po veličini zrna razlikuju od glavne mase pijeska). Koncentracija na stolovima. Magnetska koncentracija. Elektrostatska koncentracija. Flotacija
Primjese u vidu opni	Mehaničko trljanje (atricija). Kemijsko čišćenje površina (luženje)



Sl. 19. Shema stare flotacije kvarcnog pijeska Monte Šerpo kod Pule. 1 rešetka, 2 čeljusna drobilica, 3 sito, 4 kružna drobilica, 5 mlin s kuglama, 6, 10, 12 i 15 hidrocikloni — zgušnjivači, 7 zgušnjivač, 8 rotacijsko sito s prskalicama, 9, 17 i 19 klasifikacijski konusi, 11 magnetski separator, 13 i 14 flotacijski ciklus međuprodukta (13 kondicioner, 14 flotacija), 16, 18 i 20 hidrociklon — klasifikator

Najlakše je kad se radi o čistom nevezanom pijesku. Tu se finalni produkti dobivaju jednostavnim *klasiranjem*. Međutim, takvih je ležišta sve manje. Ležišta su gotovo uvijek onečišćena glinastim primjesama koje se mogu ukloniti *pranjem*. Željezovite, alkalne i mnoge druge primjese mogu se ukloniti samo koncentracijskim postupcima u užem smislu. Orijentacijski pre-

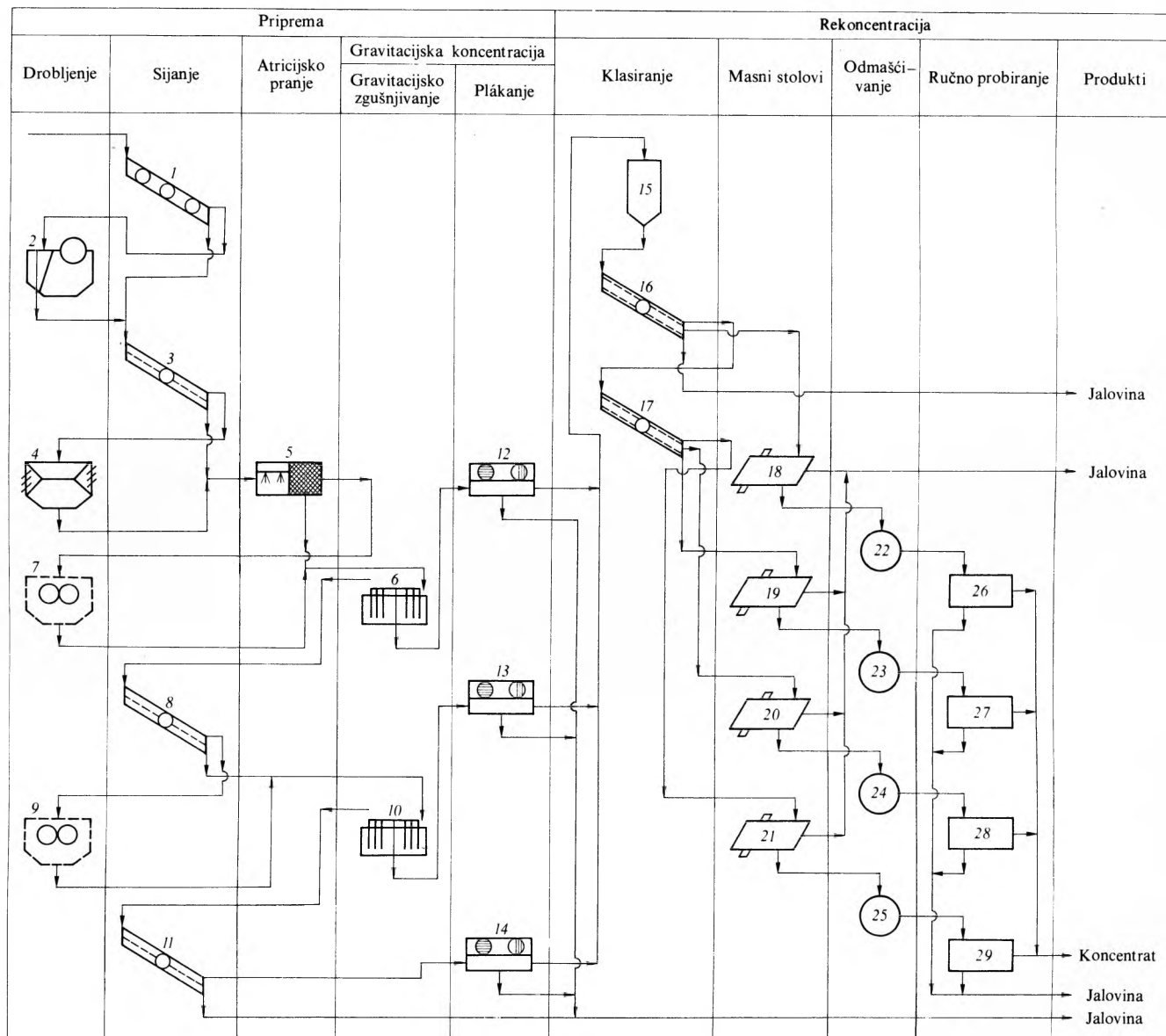
mana mora klasirati. Na sl. 19 prikazana je shema tzv. stare flotacije Monte Šerpo kod Pule.

Dijamanti se javljaju u primarnim i sekundarnim ležištima. Primarna su tzv. kimberliti, magmatske stijene u okomitim vulkanskim »dimnjacima« (v. *Rudna ležišta*), karakteristični za veoma bogata južnoafrička nalazišta. Naplavine su sekundarna

ležišta (v. *Aluvijalna rudna nalazišta*, TE 1, str. 247). Dijamanti se upotrebljavaju ili kao drago kamenje (otprilike četvrtina svjetske proizvodnje po količini, a tri četvrtine po vrijednosti) ili kao abrazivi u industriji.

Oplemenjivanje je specifično jer se radi o veoma skupocjenom materijalu, osobito kad je riječ o dragom kamenju, a uz to je koncentracija korisne komponente u rudi krajnje niska. Prosječna je koncentracija 0,3 karata (1 karat = 0,205 g), a maksimalna 1 karat po toni, što znači da tona rude sadrži ~0,000005% dijamanta, pa sirovinu treba koncentrirati u omjeru od 1:5000000, a ponekad i 1:15000000.

dnom (oko 0,5 m; pozicije 6 i 10 na sl. 20). Preliv s dijamantima prerađuje se *gravitacijski*, npr. u plakalicama ili pliva-tone ciklonima. Tako dobiveni koncentrat ulazna su sirovina za drugu fazu prerađivanja, rekonzentraciju. Tu se materijal, nakon klasiranja, prerađuje u specijalnim uređajima i specijalnim postupcima. Na sl. 20 prikazan je postupak uobičajen za rekonzentraciju primarne rude, kimberlita, u Južnoj Africi. Gravitacijski koncentrat dolaze na tzv. *masne stolove*, nagnute nepokretne ili pokretne ploče, odnosno trake presvučene slojem masti. Kako je dijamant izrazito prirodno hidrofoban, on će za masni sloj prionuti i u nj utonuti, dok će hidrofilne čestice



Sl. 20. Shema prerade kimberlita, 1 rešetka, 2 čeljusna drobilica, 3, 8 i 11 oscilacijska sita, 4 Symonsova drobilica, 5 atricijski bubnjasti praonik, 6 i 10 gravitacijski zgušnjivači, 7 i 9 drobilice s valjcima, 12, 13, 14 plakalice, 15 bunker, 16 i 17 dvoetažna oscilacijska sita, 18 do 21 masni stolovi, 22 do 25 lonci za odmašćivanje, 26 do 29 probirni stolovi

Načelno oplemenjivanje dijamanta obuhvaća pripremnu i rekonzentracijsku fazu. U pripremnoj se fazi sirovina, prema potrebi, *rašćinja* i *pere*. Aluvijalne rude često ne treba raščinjati, ali ako je to potrebno (npr. za primarne rude), upotrebljavaju se uobičajeni uređaji (čeljusne, udarne i valjkaste drobilice, te mlinovi, uglavnom sa šipkama), ali manje snage i male brzine vrtnje. Osim toga, veoma se malo dijamanta izdobi pri sitnjenju, jer su mahom sitniji od granulacijskih otvora uređaja. Nakon raščina izdvaja se prva finalna jalovina. To se često obavlja u *koncentracijskim zgušnjivačima*, uređajima sličnim uobičajenim zgušnjivačima, samo s ravnim i mnogo plićim

jalovine voda odnijeti sa stola. Povremeno se (približno svakog sata) masni sloj s uhvaćenim dijamantnim zrcima skida i u loncima s perforiranim stranama, *odmašćivačima* (22 do 25 na sl. 20), prokuhava radi uklanjanja i regeneracije masti. Najzad se iz tako dobivenih koncentrata dijamanti *ručno probiru* na posebnim stolovima (26 do 29 na sl. 20). Ukupno iskorišćenje u rekonzentraciji doseže 99%, što je najviše iskorišćenje u oplemenjivanju uopće. Sve se faze, a posebno finalna, odvijaju u uvjetima najstrože kontrole i sigurnosnih mjera.

Klasična pjenasta *flotacija* nije primjenljiva za dijamante, ali se njihova prirodna hidrofobnost iskorišćuje u specifičnoj

varijanti. Dijamanti se rigorozno očiste, npr. kuhanjem u kiselinama, pa isplivaju sami na površinu pulpe.

Dalji razvoj oplemenjivanja predodređen je potrebom predrade sve većih količina sve siromašnijih sirovina. Može se očekivati da će nastojanja ići u dva pravca: prerađivački uređaji bit će sve većeg kapaciteta i pojam sirovine obuhvatit će i današnja jalovišta i tzv. sekundarne sirovine, tj. industrijske otpadne materijale. Početkom osamdesetih godina našeg stoljeća nema znakova da će biti na raspolaganju suštinski novi postupci ili uređaji. Međutim, novim načinom primjene ili novim kombinacijama poznatih procesa svakako će se postići zadovoljavajući rezultat. Može se pretpostaviti da će pirometalurške i, osobito, hidrometalurške metode imati sve veće značenje.

LIT.: F. B. Michell, The Practice of Mineral Dressing. Electrical Press, London 1950. — A. F. Tuggart, Handbook of Mineral Dressing. John Wiley & Sons, New York-London 1960. — Mineral Processing Flowsheets. Denver Equipment Company, Denver 1962. — E. J. Pryor, Mineral Processing. Elsevier Publ. Co., Amsterdam 1965. — Đ. Lešić, S. Marković, Priprema mineralnih sirovina. Građevinska knjiga, Beograd 1968. — D. Drašković, Industrijska priprema pripreme mineralnih sirovina, 1. svezak. Izdavačko-informativni centar studenata, Beograd 1975; 2. svezak, Rudarsko-geološko-metalurški fakultet, Beograd 1972. — H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig I 1974, II 1977, III 1972. — D. Ocepek, Mehanska procesna tehnika. DDU Univerzum, Ljubljana 1976. — A. L. Mular, R. B. Bhappu, Ed., Mineral Processing Plant Design. AIME, New York 1980.

R. Marušić

OPTEREĆENJE AVIONA, skup sila i momenata koji djeluju na konstrukciju aviona, uzrokujući napone i deformacije strukturnih dijelova, što može oštetiti i polomiti konstrukciju, a i mijenjati aerodinamičke karakteristike aviona.

Interakcija aviona s okolišem. Avion se projektira prema budućoj namjeni tako da bude sposoban obavljati određene zadatke u zraku i na tlu. Kad se kreće po tlu, avion je izložen različitim utjecajima okoliša, od interakcije s pistom i zrakom do djelovanja vode, leda ili blata. U letu, međutim, aerodinamičke sile i momenti opterećuju sve površine aviona uz naprezanje konstrukcije. Kretanjem aviona po prostornim putanjama na svaki djelić njegove mase djeluju ubrzanja koja su uzročnik pojavi inercijskih sila. Budući da se avion kreće u Zemljinu gravitacijskom polju, ubrzanje Zemljine teže također stvara sile na svakom djeliću njegove mase, pa se gravitacijsko opterećenje pridružuje inercijskom. Pogonska grupa aviona, klipni motor s elisom ili mlazni motor, stvaraju vučne, odnosno potisne sile koje opterećuju avion. Letenjem kroz zračni prostor avion se zagrijava ili hladi, već prema visini i brzini leta, odnosno meteorološkim prilikama, što također uzrokuje napone u strukturi konstrukcije aviona.

Nakon slijetanja pri dodiru s pistom, kretanju po tlu (rulanju) i zaustavljanju, odnosno zaletu prije polijetanja, kotači aviona dodiruju pistu aerodroma, koja može biti ravna betonska ili travnata poletno-sletna staza. Opterećenja aviona na pisti mogu biti mjerodavna za projektiranje mnogih komponenata konstrukcije aviona.

Vlaga i različiti kemijski sastojci što se nalaze u atmosferi napadaju dijelove aviona koje zbog toga treba zaštititi pogodnim sredstvima.

Na temelju iskustva iz prakse proizlazi da se opterećenja koja djeluju na avione mogu razvrstati na aerodinamička, inercijska, pogonska, zemaljska, termička i kemijska.

U nekim posebnim prilikama, kao što je s hidroavionima na moru, potrebno je uzeti u obzir i utjecaj morske vode na zemaljska opterećenja aviona. To su hidrodinamička i kemijska opterećenja zbog djelovanja morske vode. Zimi, kada neki avioni slijeću na snijeg ili poljeću sa snijega, zemaljska se opterećenja mnogo razlikuju od interakcije s čvrstom pistom u drugim vremenskim prilikama.

Treba napomenuti da opterećenja koja utječu na sigurnost aviona mogu biti posljedica procesa proizvodnje i održavanja, jer se pogrešnom ugradnjom, te nedostatnom termičkom ili mehaničkom obradom dijelova mogu prouzročiti dodatna opterećenja konstrukcije.

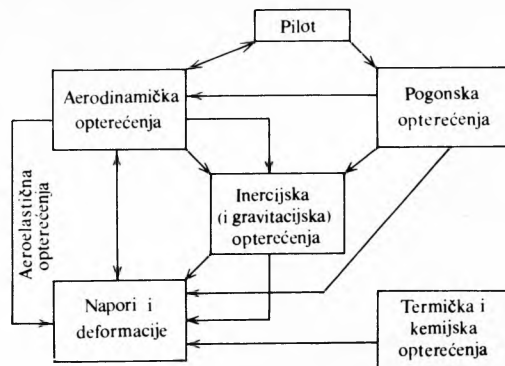
Složeni uvjeti eksploatacije aviona moraju biti detaljno ispitani da bi se iz mnoštva mogućih opterećenja izdvojila samo ona koja svojim odlikama mogu reprezentirati karakteristična stanja u kojima se realno može naći avion.

Avioni su, kao i sve druge konstrukcije, izgrađeni od elastičnih materijala. Zbog toga se dijelovi aviona pod opterećenjem deformiraju. Međutim, deformacije aerodinamičkih tijela, kao što su krila, trupovi ili repne površine, mijenjaju raspodjelu strujanja zraka oko tih tijela, što uzrokuje promjenu veličine i položaja aerodinamičkih sila. Elastičnost konstrukcije utječe na opterećenja aviona i mnogo puta može bitno utjecati na kritični faktor sigurnosti. Unutrašnje sile i momenti elastične konstrukcije nazivaju se zajedničkim imenom naponi konstrukcije. Naponi su, zapravo, reakcija konstrukcije na djelovanje opterećenja. Budući da je dinamička ravnoteža opterećenja i napora često popraćena znatnim deformacijama aviona, a deformacije mijenjaju uvjete interakcije s okolišem, to se i zbog toga opterećenje mijenja. Te promjene mogu težiti nekoj stalnoj vrijednosti ravnoteže opterećenja i napora, ili se naponi mogu smanjivati, ali se mogu i nekontrolirano povećavati. To znači da se može doseći takva razina napora koja se približava granici elastičnosti materijala, te zbog toga lako nastaju trajne deformacije ili lom konstrukcije. Najčešće naponi elastične konstrukcije pri rasterećenju prouzrokuju inercijske sile i momente, a to djeluje kao dodatno opterećenje koje deformira konstrukciju. Deformirana konstrukcija mijenja aerodinamička opterećenja, pa zbog toga mogu nastati vibracije koje ograničuju sposobnost letenja.

Opterećenje pri kojem se zbog elastičnosti konstrukcije mijenjaju aerodinamičke sile i momenti zove se *aeroelastično opterećenje*. Osim toga što uzrokuju zamor konstrukcije pri lakim vibracijama, veća aeroelastična opterećenja mogu predstavljati poremećaje koji djeluju na upravljivost i stabilnost aviona u letu. U ekstremnim slučajevima aeroelastična opterećenja uzrokuju progresivni porast naprezanja u vitalnim elementima konstrukcije, što može ubrzati lom.

Potrebno je, stoga, da se sva opterećenja dobro poznaju da bi se pri stvaranju novog tipa aviona, od njegova projektiranja pa do uvođenja u eksploataciju i održavanja, svjesno utjecalo na faktore koji doprinose povećanju sigurnosti.

Upravljački avionom, pilot pomoću komandnog sustava upravlja i pogonskim i aerodinamičkim opterećenjima, pa time odmah određuje veličine inercijskih opterećenja, odnosno veličine napora i deformacija konstrukcije (sl. 1). Atmosfera, osim kemijskog djelovanja, utječe i na rad pogonske grupe aviona. Vrijeme trajanja opterećenja postaje važan faktor kada se radi o periodički ponavljanim ili promjenljivim opterećenjima.



Sl. 1. Shema međudjelovanja: pilot – opterećenje – naponi

Ravnoteža u simetričnom letu. Pri manevriranju u vertikalnoj ravni opterećenja aviona su simetrična. Ravnoteža rezultanata aerodinamičkih, pogonskih, inercijskih i gravitacijskih sila i momenata prikazana je na sl. 2. Na toj je slici pretpostavljeno da se ishodište pravokutnog koordinatnog sustava x, y, z nalazi