

nja su izvršena i daju dobro slaganje s teorijom relativnosti s točnošću od ~5%.

### Gravitacijski valovi

Prema općoj teoriji relativnosti nastaju gravitacijski valovi, npr., kada neka asimetrična zvijezda brzo rotira. U posljednjih 15 godina pokušalo se eksperimentalno ustanoviti postojanje takvih valova. Tako je J. Weber dobio pozitivne rezultate vrlo domišljatim uređajima koji su se nalazili na dva mesta u udaljenosti od 1000 km (da se isključe lokalni utjecaji) pri University of Maryland i u Argonne National Laboratory kod Chicaga. Ti rezultati upozoravaju na neobjašnjivo snažan izvor gravitacijskog zračenja u središnjem dijelu naše galaksije. Drugi fizičari pokušali su provjeriti njegove rezultate, ali ih nisu mogli potvrditi, tako da se pitanje detekcije takvih valova za sada mora smatrati još otvorenim.

Teorijska istraživanja o gravitacijskim valovima polazna su točka za nastojanja da se teorija gravitacije uklopi u okvir moderne kvantne fizike. Usprkos vrlo zanimljivim pokušajima u tom smjeru, do sada nije uspjelo doći do zadovoljavajućeg rezultata.

Može se reći da je opća teorija relativnosti opažanjima i eksperimentima izvrsno potvrđena. Nekoliko konkurentnih drugih teorija gravitacije postepeno je otpadalo na temelju sve točnijih mjernih rezultata. Jedino je ostala Brans-Dickeova teorija koja je važna jer predviđa polagano smanjivanje konstante gravitacije (primjetno u milijardama godina), a to utječe na tempo i način razvoja svemira, pa i Zemlje. Izgleda da se ni ta teorija neće održati kako je već spomenuto. Dalja usavršavanja mjerne tehnike uz upotrebu umjetnih satelita i svemirskih brodova u toku su ili u planu i očekuje se da će se u idućim godinama riješiti ovo pitanje, kao i neka druga, također u vezi s teorijom relativnosti.

### Astrofizikalna i kozmolоška pitanja

U mnogim pitanjima astrofizike nije potrebno posegnuti za općom teorijom relativnosti jer ona postaje važna tek onda kada se javljaju vrlo jaka gravitacijska polja. To se dešava kod tzv. neutronske zvijezde koje se javljaju napose kao pulsari, a naročito kod tzv. crnih jama koje su rezultat gravitacijskog urušavanja (kolapsa) zvijezda. Naime, ako neka zvijezda s masom većom od tri Sunčeve mase istroši svoje nuklearno gorivo, ona se počinje stezati, i to se stezanje ne zaustavlja, tako da se ona smanjuje ispod tzv. Schwarzschildova polumjera  $2MG/c^2$ . (Taj polumjer, npr., za Sunce iznosi 2,95 km.) Pita se kakva metrika vrijedi unutar toga Schwarzschildova polumjera. M. D. Kruskal pokazao je 1960. da se uvođenjem prikladnih prostorno-vremenskih koordinata Schwarzschildov singularitet može ukloniti, no prostorno-vremenska metrika unutar Schwarzschildova polumjera postaje vrlo neobična i teško predočiva. Najvažnija je osobina da je gravitacija tolika da se s površine zvijezde nijedna čestica, pa ni foton, ne može odvojiti, jer je brzina oslobođanja prešla brzinu svjetlosti. Stoga nikakav svjetlosni signal ne može doprijeti do vanjskog opažača, i zato se kaže da je nastala crna jama. Čestica koja pada prema toj jami treba konačno vlastito vrijeme da dođe do kritične udaljenosti i pada dalje, doprijevši u konačnom vlastitom vremenu do središta. No, prema vanjskom opažaču treba beskonačno dugo da čestica dođe do kritične udaljenosti, a što se dalje zbiva, ne može se nikad saznati. Postojanje crnih jama teško je ustanoviti jer su nevidljive. Ako je crna jama jedna komponenta dvojne zvijezde, može se njeno postojanje naslutiti prema gibanju druge komponente. Izgleda da je uspjelo otkriti takvu crnu jamu. Posebno je pitanje kakvo je gravitacijsko polje crne jame koja brzo rotira.

Opća teorija relativnosti bitno zahvaća u pitanje konstitucije i razvoja čitavog svemira. S obzirom na mogućnosti neeuclidiske metrike, postoje različiti modeli svemira koji su u skladu s teorijom relativnosti. Napose, svemir može biti konačan, premda bez granica, kao što je konačna, ali bez granica kuglina ploha. Tada se kaže da je svemir zatvoren. Kakva je metrika svemira u velikom (ne gledajući na lokalne prilike u blizini

pojedinih svemirskih tijela), ovisi o srednjoj gustoći materije koja nije pouzdano određena. Zna se da je svemir u fazi rastezanja, no da li će se rastezati beskrajno ili će se poslije nekog vremena (nakon mnogo milijardi godina) opet početi stezati, ovisi o toj srednjoj gustoći. Isto tako nije još jasno da li je svemir zatvoren ili otvoren (beskonačan).

Na kraju neka bude spomenuto da su različiti učenjaci, uključivši Einsteina, pokušali poopćiti Einsteinovu opću teoriju relativnosti tako da ne samo gravitacija nego i elektromagnetizam bude izraz geometrijskih svojstava kontinuma prostora-vrijeme. Ti matematički zanimljivi pokušaji nisu doveli do naročito zadovoljavajućeg rezultata.

LIT.: M. v. Laue, Die Relativitätstheorie. Friedrich Vieweg u. Sohn, Braunschweig, I 1919, II 1921. — W. Pauli jun., Relativitätstheorie. B. G. Teubner, Leipzig u. Berlin 1921. — H. Weyl, Raum-Zeit-Materie. Springer, Berlin 1923. — P. G. Bergmann, Introduction to the Theory of Relativity. Prentice-Hall, Inc., New York 1946. — M. Born, Einsteinova teorija relativnosti. Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb 1948. — S. Weinberg, Gravitation and Cosmology. John Wiley Sons, Inc., New York-London-Sydney-Toronto 1972. — D. Blašić, V. Vučović, Teorija relativnosti. Liber, Zagreb (u tisku).

D. Blašić

**GRAVITACIJSKA KONCENTRACIJA**, skup postupaka za oplemenjivanje čvrstih mineralnih sirovina. Postupci se zasnivaju na razlici u gustoći (pa prema tome i specifičnoj težini) pojedinih sastojaka sirovine, u prvom redu korisne supstance i jalovine (nekorisne supstance). Kako je ta razlika gotovo uvijek manje ili više izražena, postupci gravitacijske koncentracije praktično su najstarije metode sortiranja mineralnih sirovina. Sve do početka ovog stoljeća, one su bile glavni, a često i jedini način za odvajanje i dobivanje korisnog sastojka iz sirovine. U savremenim oplemenjivačkim postrojenjima u nekim područjima pretežu drugi separacijski postupci, ali je gravitacijska koncentracija još uvijek glavna tehnološka metoda u separaciji ugljena, a neki njeni postupci posljednjih se dvadesetak godina opet sve više primjenjuju i u oplemenjivanju ruda, i to naročito za odvajanje jalovine radi rasterećenja glavnog tehnološkog procesa putem prethodnog odvajanja jalovine (tzv. pretkoncentracija).

Postupci gravitacijske koncentracije pretežno su mokri postupci, tj. odvajaju se u vodi i vodenim suspenzijama, ali je ponekad i zrak radna sredina (pneumatska koncentracija). Kao što ime kazuje, osnovni je djelujući činilac sila teže. Pored toga, na čestice u postupku mogu djelovati i druge sile, kao što su hidrodinamičke i centrifugalne sile i sile trenja.

U uređajima za gravitacijsku koncentraciju mogu se preraditi svi granulati koji dolaze u redovnom rudarskom pogonu osim najsitnijih. Gornja je granica određena veličinom uređaja, tako da se npr. u separatorima sa suspenzijama za ugljen (lignite) mogu preraditi i komadi do 1000 i više mm. Međutim, teškoće prerade proporcionalno rastu sa smanjenjem zrna, tako da se zrna sitnija od 0,02 mm postupcima gravitacijske koncentracije ne mogu preraditi.

Kao orientacijsko mjerilo može li se neka dvokomponentna sirovinu preraditi gravitacijskom koncentracijom služi tzv. koncentracijski kriterij  $Q$ :

$$Q = \frac{S_h - R}{S_l - R}, \quad (1)$$

gdje je  $S_h$  gustoća komponente veće gustoće,  $S_l$  gustoća komponente manje gustoće i  $R$  gustoća medija u kojem se koncentracija obavlja. Ukoliko je  $Q$  veće od 2,5, gravitacijska je koncentracija moguća za sve granulate osim za najsitnija zrna (<20 μm); pri  $Q = 1,75$  donja je granica preradivih zrna 0,2 mm; pri 1,5 mogu se preraditi samo zrna veća od 1,5 mm; pri 1,25 koncentracija je još moguća za zrna veća od 6 mm, a pri  $Q$  manjem od 1,25, gravitacijska koncentracija današnjim industrijskim postupcima nije moguća.

Gravitacijska se koncentracija obavlja u sljedećim uređajima: u plakalicama, na koncentracijskim stolovima, u uređajima za koncentraciju u suspenzijama i u žljebovima.

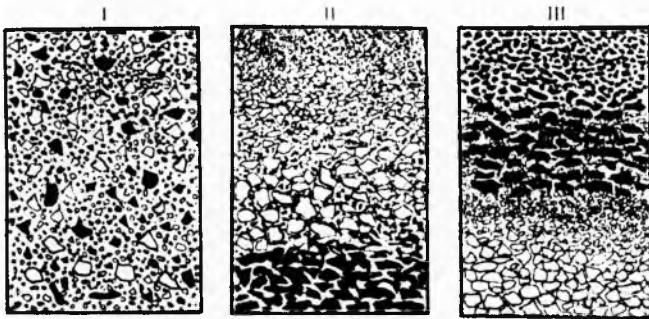
### PLAKALICE

Plakalice (sinomimi: taložnice, mašine taložnice; njem. *Setzmaschine*, engl. *jig*, franc. *bac*, ili *machine de setzage*, rus. *омадочная машина*) ubrajaju se u najstarije rudarske tehnološke uređaje (sl. 1). Opisao ih je već G. Agricola u svom djelu *De re metallica* (Basel 1556).



Sl. 1. Rad s plakalicama u srednjem vijeku

Proces u plakalicama, plákanje, zasniva se na saznanju da vertikalne pulzacijske vode kroz neku smjesu zrna prouzrokuju raslojavanje (stratifikaciju) tih zrna po njihovoj gustoći. Teža će zrna prodirati prema dnu, a lakša će zrna voda iznositi na površinu smjese. U suštini plakalica se sastoji od posude s vodom i sita na koje se nanosi materijal za preradu (*posteljica*). Uzastopnim strujanjem vode gore i dolje kroz posteljicu postiže se njen rastresanje, što omogućuje raslojavanje materijala prema gustoći. Zrna veće gustoće istaložit će se na situ, a zrna manje gustoće iznad njih.

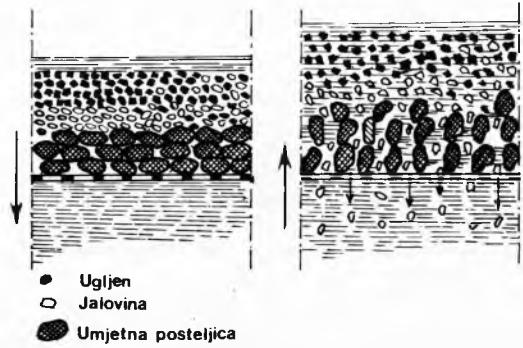


Sl. 2. Faze stratifikacije materijala u plakalici

Raslojavanje materijala odvija se u nekoliko faza (sl. 2). Na početku (I) smjesa zrna različite gustoće i različite veličine potpuno je nesređena. Djelovanjem uzgona u vodi smjesa se raslojava po gustoći (II). Najviši sloj čine sitna zrna komponente manje gustoće, ispod njih nalaze se krupna zrna iste komponente zajedno sa sitnim zrnima komponente veće gustoće, a pri dnu su krupna zrna komponente veće gustoće. Pri povlačenju vode naniže (III), s vodom kroz sloj krupnih zrna komponente veće gustoće prolaze i sitna zrna komponente veće gustoće i takože se na dnu posteljice, a iznad njih ostaju krupna zrna komponente veće gustoće. To se isto dešava i s

komponentom manje gustoće. I tu se sitna zrna s vodom pravaju kroz krupna zrna koja na kraju ostanu na vrhu. Time je separacija postignuta, pa se obje komponente prikladnim načinom mogu jedna od druge odvojiti. Voda može s obzirom na materijal pulsirati na dva načina: sito s posteljicom naizmjenično se spušta u vodu i diže iz nje ili je sito nepokretno a voda se klipom ili na neki drugi način potiskuje kroz posteljicu. Prvi je način stariji, ali je gotovo potpuno nestao iz upotrebe.

Općenito, u plakalicama se mogu preraditi sve čvrste mineralne sirovine dobivene rudarskim otkopavanjem. U pogledu granulacije, za ugljen dolazi u obzir raspon od 150...0,5 mm, a za rude od 90...0,1 mm. Za preradu sitnog zrna, tj. za klase sitnije od oko 15 mm, sito plakalice moralo bi imati veoma male otvore kroz koje bi voda veoma teško prodirala. To bi sasvim poremetilo potrebnu ritmičku pulsaciju, a osim toga takva se sita veoma brzo i jako habaju. Zato se pri preradi sitnih zrna radi sa tzv. umjetnom posteljicom (sl. 3). Na normalno sito rasprostru se zrna veće gustoće pa nakon rastresanja cjelokupne posteljice zrna veće gustoće najbrže padaju i zalaze među zrna umjetne posteljice sprečavaju zrna veće gustoće, pa konačno, nakon sve dublje penetracije u posteljicu, zrna veće gustoće propadaju kroz sito kao tzv. proplákani koncentrat. Kao umjetna posteljica upotrebljavaju se zrna pirita, magnetita, kuglice od željeza, čelika ili olova, a i od rude što se prerađuju. U preradi ugljena kao umjetna posteljica upotrebljavaju se zrna glinenca. Zrna umjetne posteljice treba da budu 1,5...2 puta veća od otvora sita, a gustoća nešto veća od gustoće komponente s većom gustoćom.



Sl. 3. Djelovanje umjetne posteljice u plakalici za ugljen

**Teorija plákanja.** Iako se plakalice upotrebljavaju već stoljećima, teorijsko objašnjenje njihovog rada daleko zaostaje za praksom, jer je proces veoma komplikiran zbog mnogobrojnih statičkih i dinamičkih međuzavisnih faktora što djeluju u posteljici. Postoji nekoliko teorija za objašnjenje procesa plákanja. Jedna grupa teorija bazira se na istraživanjima koja prate kretanje pojedinih zrna. Druga grupa teorija razmatra posteljicu kao cjelinu, kao kolektiv zrna; među njima je najvažnija tzv. potencijalna teorija, kako ju je nazvao njen autor F. W. Mayer (1950, dopunjeno 1960. i 1964). Primjenjujući postulat o težnji svakog zatvorenog mehaničkog sistema da postigne stanje minimalne (potencijalne) energije, Mayer je zamislio posteljicu u plakalici kao takav sistem sa smjesom dviju komponenata različite gustoće. Na temelju tog postulata te će se komponente, ukoliko se miješanjem ne mogu prevesti u homogenu masu, razdvojiti tako da će se komponenta veće gustoće smjestiti dolje, a komponenta manje gustoće gore. To će se dogoditi samo pod uvjetom da se savlada unutrašnje trenje, što se u plakalici postiže pulsirajućim strujanjem vode.

Potencijalna energija sistema prije raslojavanja uz pomoć vodene struje iznosi:

$$E_1 = (G_1 + G_2) \frac{h_1 + h_2}{2}, \quad (2)$$

gdje su  $G_1$  i  $G_2$  težine komponenata, a  $h_1$  i  $h_2$  visine (debeline) slojeva idealno raslojenih komponenata. Nakon rasloja-

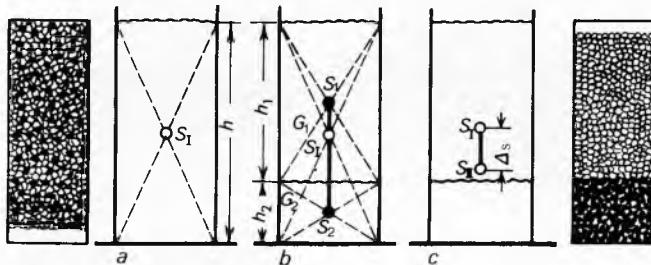
vanja, pošto se težiste frakcije manje gustoće ( $S_1$ ) premjestilo navise a težiste frakcije veće gustoće ( $S_2$ ) naniže (sl. 4), potencijalna energija dobiva vrijednost:

$$E_2 = G_1 \left( \frac{h_1}{2} + h_2 \right) + G_2 \frac{h_2}{2}. \quad (3)$$

Razlika ovih dvaju izraza:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{1}{2} (G_2 h_1 - G_1 h_2) \quad (4)$$

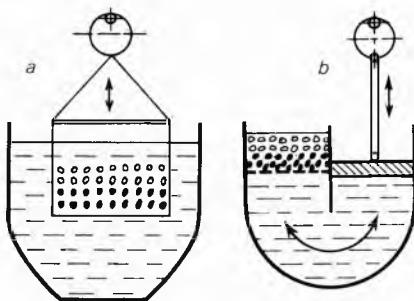
pokazuje količinu energije raspoložive za proces raslojavanja dvokomponentnog sistema. Ona je to veća što je veća razlika u gustoći obiju komponenata. Za vrijeme raslojavanja potencijalna energija prelazi u kinetičku, koja se troši na iznošenje čestica manje gustoće u više slojeve posteljice i na savlađivanje trenja među česticama. Kako stratifikacija napreduje tako se smanjuje raspoloživa potencijalna energija.



Sl. 4. Energetsko stanje u posteljici (prema F. W. Mayeru). a težiste binarne smjese (S) prije raslojavanja, b nakon raslojavanja, c spuštanje težista

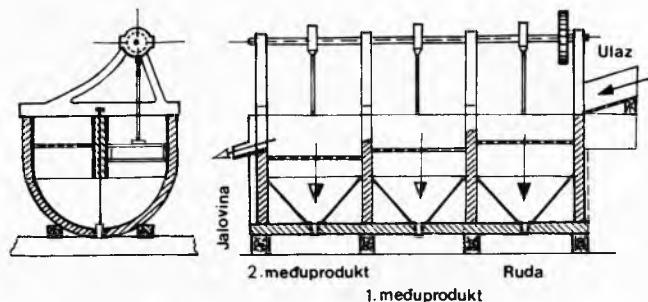
Mayerova teorija možda suviše uprošćuje komplikirani proces plakanja jer zanemaruje ponašanje pojedinačnog zrna, tj. ne obazire se na hidrodinamičke sile koje unutar posteljice također djeluju na kretanje zrna. Razmatranje kretanja pojedinačnog zrna ishodište je drugih teorija plakanja, u prvom redu tzv. teorije ubrzanja. Po toj teoriji, raslojavanje po gustoći u posteljici može se objasniti različitim brzinama odnosno ubrzanjima što ih zrna različitih gustoća dobivaju djelovanjem pulsirajuće vode. Nedostatak je te teorije, a i drugih koje razmatraju kretanje pojedinačnog zrna, što zanemaruje mehaničke sile među zrnima, tj. impuls što ga tim silama dobiva posteljica kao cjelina. U posljednje se vrijeme nastoje povezati te dvije temeljne teorije, jer bi se njihovom kombinacijom moglo dobiti donekle zadovoljavajuće objašnjenje procesa.

**Tipovi plakalica.** Plakalica ima s pokretnim i s nepokretnim ili fiksnim sitom (sl. 5).



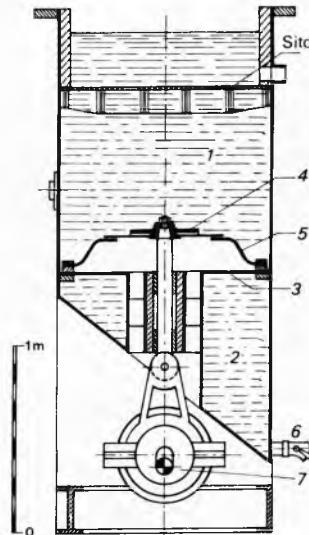
Sl. 5. Plakalice: a s pokretnim sitom, b s nepokretnim sitom; komponenta veće gustoće prikazana je šrafirano

Plakalice s *pokretnim sitom* konstruktivno su starije i bile su još od početka ovog stoljeća važan uređaj za opremljivanje ruda. Međutim, danas se rijetko upotrebljavaju, npr. za preradu krupozrne manganske rude (3–40 mm) u SSSR, ali se i tu više ne izrađuju serijski već prema potrebi na licu mjesta.



Sl. 6. Trokomorna klipna plakalica

Među plakalicama s *nepokretnim sitom* najstarija je *klipna plakalica*. Konstruirana je početkom prošlog stoljeća u rudarskom području srednjonjemačkog gorja Harz, po čemu se mašine tog tipa i danas još često, osobito u anglosaksonskoj i sovjetskoj stručnoj literaturi, ali i u nas, nazivaju harckim (*Harz Jig*). U savremenim klipnim plakalicama (sl. 6) klip se pokreće ekscentrom, a mašina se obično sastoji od nekoliko (do pet) serijski spojenih komora. Pri preradi rude u komorama će se na situ uzastopno istaložiti komponente po gustoći. U prvoj komori naći će se komponenta najveće gustoće, čista ruda, u drugoj tzv. prvi ili bogati meduprodukt, smjesa jalovine i sraslih zrna jalovine s mnogo metala, a u trećoj drugi ili siromašni meduprodukt, smjesa jalovine i sraslaca s malo metala. Čista jalovina, kao komponenta najmanje gustoće, tvorit će najviši sloj i nju će voda otploviti kroz isput plakalice.



Sl. 7. Plakalica tipa Bendelari s dijafragmom. 1 gornja komora, 2 šiljasti sanduk, 3 pregrada, 4 dijafragma, 5 gumeni prsten, 6 isput, 7 ekscentar

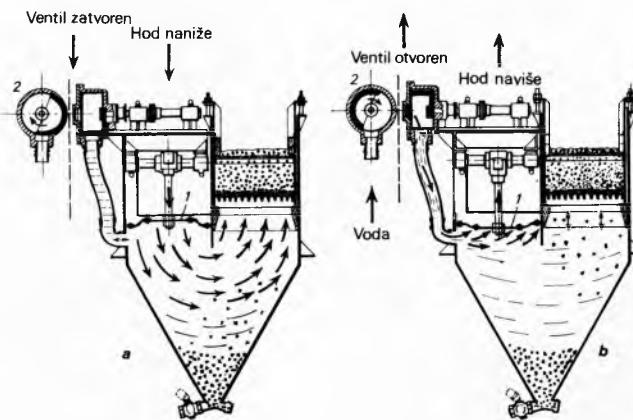
U nekim plakalicama, konstruiranim dvadesetih i tridesetih godina ovog stoljeća, klip je zamijenjen *gumenom dijafragmom*. Takve su mašine npr. plakalice tipa Bendelari i Denver. Obje se upotrebljavaju za preradu ruda.

Plakalica tipa Bendelari (sl. 7) sastoji se od gornje komore 1 i donjeg šiljastog sanduka 2, koji su razdvojeni pregradom 3. Za tu je pregradu isprekidano pričvršćena dijafragma 4 pomoću gumenog prstena 5, tako da isplákani koncentrat (komponenta veće gustoće) kroz te otvore može prolaziti u 2, odakle se ispušta kroz isput 6. Dijafragma se pokreće pomoću ekscentra 7. Kapacitet te plakalice ne prelazi 400–500 t/d.

Plakalica tipa Denver (*Denver Mineral Jig*, sl. 8) također ima dijafragmu 1, koja se pokreće ekscentrom, ali je njen kretanje sinhronizirano s radom rotacijskog ventila 2 kroz koji se dovodi pogonska voda. U fazi I (sl. 8a) ventil je zatvoren i ekscentar pokreće dijafragmu naniže, čime se postiže strujanje vode kroz posteljicu navise. U fazi II (sl. 8b) ventil je otvoren

## GRAVITACIJSKA KONCENTRACIJA

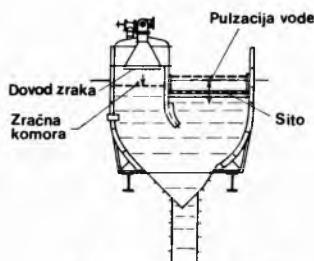
i dijafragma polazi naviše, ali u posteljici ne dolazi do intenzivnog usisavanja naniže, jer voda upravo nailazi u plakalicu. Tako se izbjegava vrtloženje koje bi moglo omesti mirnu stratifikaciju. Maksimalni dnevni kapacitet takvih plakalica iznosi oko 500t/d.



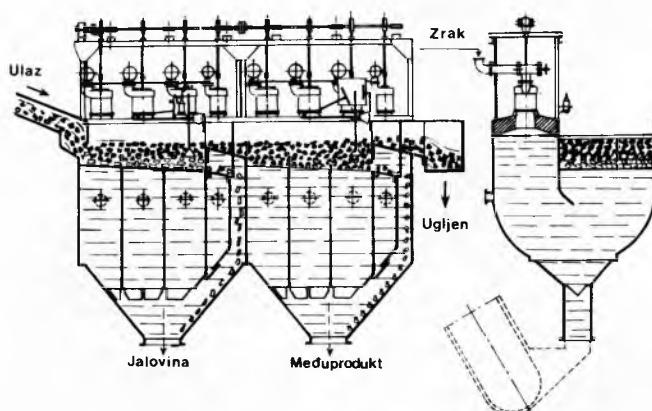
Sl. 8. Plakalica tipa Denver s dijafragmom. a početak rastresanja posteljice, b faza stratifikacije posteljice; 1 dijafragma, 2 rotacijski ventil

Klasična je klipna plakalica tipa Harz bila jedina plakalica s nepokretnim sitom sve do devedesetih godina prošlog stoljeća. Tek je 1892., u nekoj separaciji ugljena u Rurskoj oblasti, proizvodila mašina s pulzacijama prouzrokovanim komprimiranim zrakom. To je Baumova plakalica, nazvana tako po konstruktoru. Iako se klipne plakalice još uvijek grade, u gravitacijskom je oplemenjivanju ugljena princip zračne pulzacije usmjerio razvoj pravcem kojim se i danas kreće.

U Baumovoj se plakalici (sl. 9) na mjestu klipa nalazi zračna komora u koju se kroz posebne zasune ili ventile utiskuje komprimirani zrak. Pulzacije zraka prenose se na vodu, a zatim na posteljicu. Baumov princip zračne pulzacije prihvaćen je gotovo univerzalno, osobito za pranje ugljena. Savremene plakalice za ugljen (sl. 10) imaju po pravilu dvije komore, tako da se mogu dobiti tri produkta: čisti ugljen, međuproduct i jalovina. Komponente će se opet istaložiti prema gustoći,



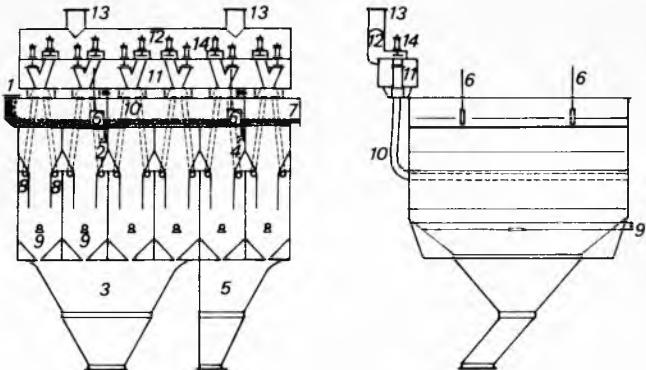
Sl. 9. Plakalica tipa Baum



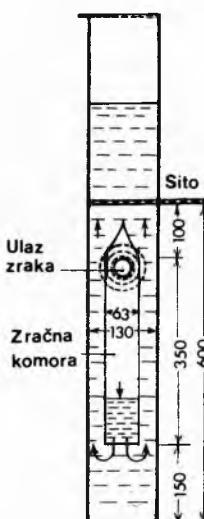
Sl. 10. Dvokomorna plakalica sa zračnom pulzacijom za ugljen

tj. u prvoj komori jalovina kao komponenta najveće gustoće, međuproduct (sraslaci) u drugoj, a ugljen, kao komponentu najmanje gustoće, voda će otploviti preko ispusta na kraju mašine. U takvoj se plakalici može preraditi ugljen do veličine hrane od 200mm, uz kapacitet do najviše 300t/h.

Kapacitet plakalice zavisi u prvom redu od njene širine. Plakalice s bočnim zračnim pulzacijskim komorama mogu biti široke najviše 2,5m, jer se u širim plakalicama javljaju velike hidrodinamičke teškoće oko održavanja ravnomernog uzgona po svoj površini. Japanac Takakuwa je 1958. godine konstruirao plakalicu tipa TACUB (Takakuwas Air Chamber under the Bed — Takakuwina zračna komora ispod posteljice) kojom su se te poteškoće izbjegle. Zračne komore u toj plakalici smještene su ispod posteljice, pa tako njena širina nije ograničena. Danas se ta plakalica proizvodi pod nazivom BATAC-plakalica (Baum-Tacub, sl. 11 i 12). BATAC-plakalice za ugljen grade se sa širinama do 7m i s kapacitetima do 1000t/h. Dužina posteljice može iznositi do 7 i više m. Upotrebljavaju se, iako u mnogo manjem obimu, i za preradu ruda, uglavnom željeznih.



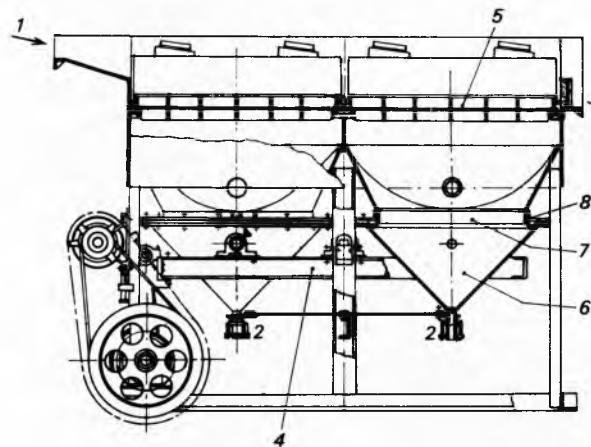
Sl. 11. Plakalica tipa BATAC za ugljen. 1 ulaz, 2 ispust za jalovinu, 3 izlazni lijevak za jalovinu, 4 ispust za međuproduct, 5 izlazni lijevak za međuproduct, 6 naprave za podešavanje ispusta, 7 ispust za ugljen, 8 zračne komore, 9 dovod podrešetne vode, 10 dovod zraka, 11 distribucijska komora za zrak, 12 komora za ispušni zrak, 13 odvod ispušnog zraka, 14 ventil



Sl. 12. Zračna komora tipa BATAC

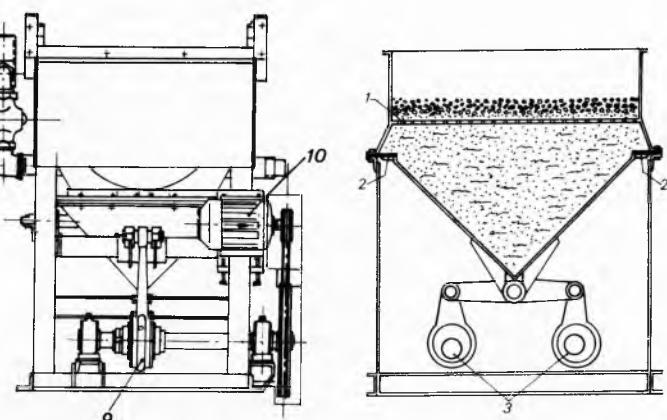
Princip pulzacije odozdo ispod cijele posteljice, definitivno je prihvaćen u savremenim plakalicama. Od njih valja spomenuti one s manžetnom (prstenastom) dijafragmom. Takva je npr. sovjetska plakalica 47B-OT (odn. MOD-2, sl. 13), koja uglavnom služi za preradu ruda zrnatosti 1–15mm. Imala dva ili tri komora s donjim konusnim dijelom koji je gumenom manžetnom spojen s gornjim radnim dijelom. Konusni se dio

ekscentrom pokreće gore-dolje, s amplitudama do 20mm, čime se prouzrokuje potrebna pulzacija vode u gornjem dijelu. Kapacitet, već prema vrsti rude, iznosi od nekoliko do 20t/h. Ove se mašine u SSSR upotrebljavaju za preradu željeznih i manganskih ruda i ruda rijetkih metala.



Sl. 13. Plakalica 47B-OT s prstenastom dijafragmom. 1 ulaz, 2 ispust za proplákani koncentrat, 3 preliv za komponentu manje gustoće, 4 nosiva greda, 5 sito, 6 konus, 7 cilindrični obruč, 8 gumeni dijafragma, 9 ekscentar, 10 pogonski motor

tipa Wilfley. Općenito je, međutim, taj uređaj za oplemenjivanje veoma mnogo izgubio od svog značenja. Važan je još u preradi sitnog ugljena u SAD, gdje je još prije deset godina bilo u upotrebi oko 2000 stolova, na kojima se prerađivalo oko 50 miliona tona ugljena godišnje. Drugdje se stolovi upo-



Sl. 14. Plakalica tipa WEMCO-Remer s prstenastom dijafragmom. 1 sito, 2 gumeni dijafragma, 3 ekscentri

Slična je i američka plakalica tipa Remer (sl. 14). I tu se pulzacija vode postiže oscilacijom donjeg dijela jedine radne komore, koja je gumenom manžetnom spojena s gornjim, ne-pokretnim dijelom. Oscilacije se dobivaju pomoću dvaju ekscentara, od kojih jedan radi s velikom amplitudom (do 25mm), a drugi s malom (oko 1,5mm). Tom kombinacijom treba da se postigne ravnomjeran rad po cijeloj posteljici, bez mrtvih kutova i vrtloženja. Prvobitno razvijena za oplemenjivanje šljunka i pijeska za građevinske svrhe, danas se ta plakalica uspješno upotrebljava i za rude, npr. željeza, i za nemetalne sirovine, npr. barit (i u SFRJ). Kapacitet iznosi do 50t/h.

Danas se plakalice pretežno upotrebljavaju u separaciji ugljena pa je njihov udjel u proizvodnji pranog ugljena oko 50% (SAD) do 70% (Engleska, Japan, ČSSR) i 75% (SR Njemačka). U oplemenjivanju ruda plakalice se upotrebljavaju za rude s korisnim komponentama velike gustoće, npr. za rude željeza, mangana, olova i volframa (SSSR, SAD, Francuska, Zair, Bolivija, Australija i dr.). U Jugoslaviji se plakalice također primjenjuju u separaciji ugljena (Breza, Banovići, Trbovlje, Senjski Rudnik), ali i u separaciji ruda (olovo i cink u Mežici, kromit u Raduši i Devi), te u nekim rudnicima nemetala, osobito barita.

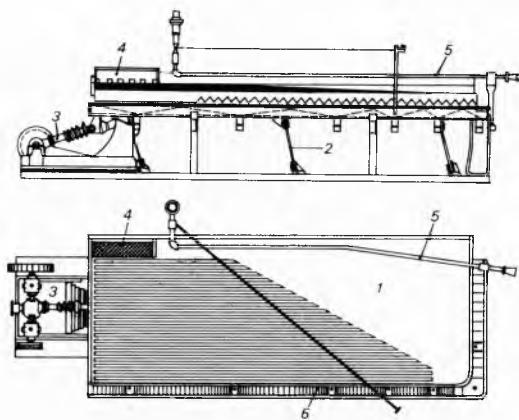
Osim opisanih plakalica za mokri rad grade se i zračne ili pneumatske plakalice koje se ponegdje još upotrebljavaju za preradu kamenog ugljena (približne granulacije 70/0,5mm), a mnogo rjeđe za rude. Po konstrukciji i načinu rada slične su plakalicama za mokri rad. Radni je medij, međutim, zrak, koji se s pritiskom od oko 2350Pa (240kpm<sup>2</sup>) rotacijskim ventilima odozdo propušta kroz posteljicu. Materijal mora biti suh, usko klasiran, s relativno velikim razlikama u gustoći. Uređaji su pogodni za krajeve gdje ima teškoća u opskrbi vodom. Tako se npr. pneumatske plakalice primjenjuju u ugljenokopu na Spitsbergenu, gdje se otkopava potpuno suh ugljen, a upotrebljavaju se i u malim separacijama ugljena u bezvodnim krajevima Azije.

### KONCENTRACIJSKI STOLOVI

Koncentracijski stolovi (sinonim: klatni stolovi; njem. *Herde*, engl. *shaking tables*, franc. *tables à secousses*, rus. *концентрационные столы*) bili su prvi put upotrijebljeni za oplemenjivanje olovno-cinkovih ruda u Freibergu u Saskom rudogorju potkraj XVIII stoljeća (1797. godine). Bili su to glatki stolovi bez žljebova, dok je prve stolove sa žljebovima konstruirao 1896. godine A. R. Wilfley u Koloradu. Danas se gotovo isključivo upotrebljavaju stolovi sa žljebovima, pretežno

trebljavaju pretežno u oplemenjivanju ruda, poimenično olova, kositra, volframa, kroma, željeza, rijetkih i plemenitih metala, te barita i fluorita. Maksimalna veličina zrna koja se na koncentracijskim stolovima može preraditi, iznosi za rude oko 8mm, a za ugljen do približno 15mm, izuzetno (u SAD) do 75mm. Zrna manja od 0,02–0,05mm ne mogu se preraditi na stolovima.

Koncentracijski je stol približno pravokutna ploča, nagnuta za 2–10°, koja oscilira u pravcu duže osi, a na koju se materijal zajedno s vodom dodaje na gornjoj višoj strani. Ploča je presvučena linoleumom, gumom ili nekim sintetskim materijalom. Na njoj se nalaze žljebovi načinjeni najčešće od letvica kojih se visina postepeno smanjuje od pogonske strane prema izlaznoj. Najveća visina letvica je 6–26mm. Raspored letvica može biti različit, ali je žlijebanje najčešće dijagonalno završeno, tj. krajevi letvica leže na dijagonali (sl. 15).

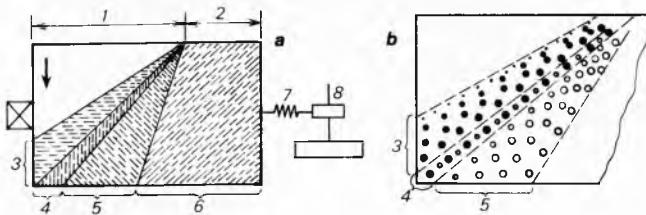


Sl. 15. Standardni koncentracijski stol. 1 ploča stola, 2 elastični oslonci, 3 pogon, 4 sanduk za dodavanje materijala, 5 perforirana cijev za dovod spirne vode, 6 odvodni žlijeb za proizvode

Materijal se dodaje u obliku vodene suspenzije s odnosom čvrsto-tekuće 1:3 do 1:5. Kao posljedica kombiniranih uticaja nagiba stola, sile teže i uzdužnih oscilacija, materijal putuje preko stola općenito u dijagonalnom pravcu, pri čemu se obrazuju zone (sl. 16). Zrna najveće gustoće, koncentrat u prradi ruda i jalovina u preradi ugljena, putuju najdalje i padaju sa stola u odvodni žlijeb na strani suprotnoj od po-

## GRAVITACIJSKA KONCENTRACIJA

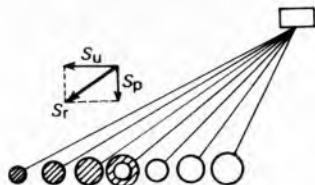
gonske. Međuproduct silazi sa stola u tzv. čošku međuproductata, a zrna male gustoće, jalovina u preradi ruda i čisti ugljen u preradi ugljena, silaze sa stola prekoputa ulazne strane.



Sl. 16. Zone djelovanja na koncentracijskom stolu. a zone produkata, b granulacijske zone; 1 spirna voda, 2 ulaz materijala, 3 koncentrat, 4 međuproduct, 5 jalovina, 6 fini mulj, 7 opruga, 8 motor s ekscentrom

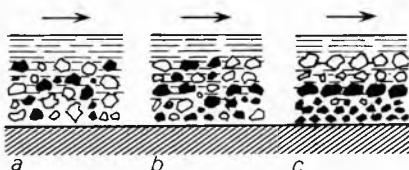
Najfiniji mulj ima najkraći put. Njega voda otpavljuje sa stola prije no što se počne taložiti. To je frakcija mikronskih veličina, koja se na stolovima ne može preraditi. Zato je izostavljena zona najfinijeg mulja na sl. 16b, a prikazana je lepeza granulata stvarnih produkata. Među njima nema oštре granice.

Rad koncentracijskih stolova može se teorijski objasniti na slijedeći način: na uzdužni transport zrna djeluju hidrodinamičke sile, inercija i trenje, a na poprečni gravitacija, hidrodinamičke sile i trenje. Uslijed kombiniranog djelovanja tih sila, zrno se na glatkom stolu kreće po rezultanti  $S_r$  (sl. 17).

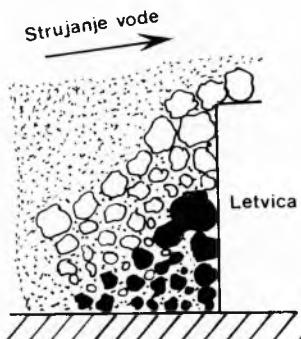


Sl. 17. Kretanje zrna na glatkom stolu. Zrna veće gustoće su šrafirana.  $S_u$ ,  $S_p$ ,  $S_r$  — uzdužna, poprečna i rezultantna putanja zrna

Prilikom prerade materijala s različitom gustoćom i veličinom zrna, uzdužne putanje zrna bit će obrnuto proporcionalne njihovoj veličini, a direktno proporcionalne gustoći. Pri tome se putanje krunjnjih zrna s većom gustoćom često preklapaju s putanjama sitnjih zrna s manjom gustoćom. Istovremeno, međutim, odvija se u žljebovima i proces taloženja. Izmiješana



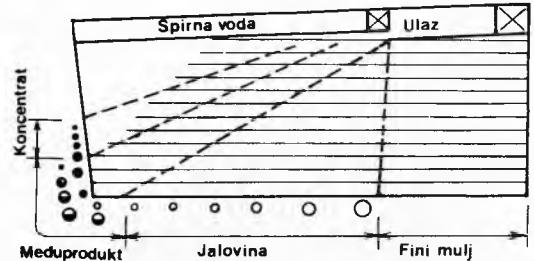
Sl. 18. Proces stratifikacije u žljebovima na stolu. Crno: komponenta veće gustoće, bijelo: komponenta manje gustoće



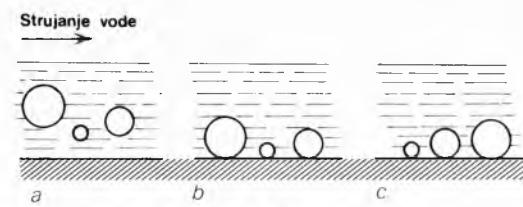
Sl. 19. Otplavljanje zrna preko letvica

se zrna postepeno stratificiraju (sl. 18), a zbog stalnog pridlaženja novog materijala zrna se nagomilavaju i gornji sloj počinje nadvisivati letvicu, pa ga voda otpavljuje i odnosi sa stola (sl. 19). Kako se visina letvica smanjuje u pravcu iz-

lazne strane stola, voda odnosi sve niže i niže slojeve, pa se na rubu stola uspostavlja konačni raspored materijala na stolu (sl. 20). Na glatkom dijelu na kraju stola odvija se još i tzv. taloženje u plitkom sloju. Naime, zbog trenja je brzina vodene struje pri dnu najmanja. Stoga će velika zrna biti otpoplavljeni sa stola brže od manjih jer dosežu u više, brže slojeve vodene struje (sl. 21). Na taj se način pojačava klasiranje zrna koncentrata po veličini.

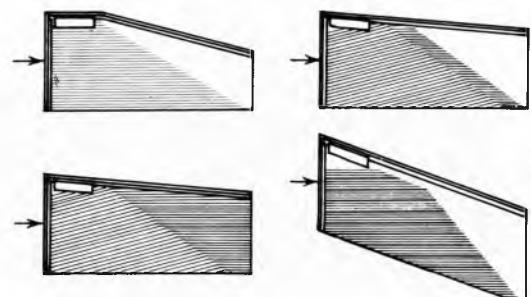


Sl. 20. Konačni raspored trokomponentnog materijala na stolu



Sl. 21. Taloženje u plitkom sloju

Osim standardnog žlijebanja primjenjuju se i druge varijante (sl. 22). Nijedan tip žlijebanja nema nekih značajnih prednosti u usporedbi s drugima. Kako je velika potreba za



Sl. 22. Različiti tipovi žlijebanja koncentracijskih stolova

prostorom osnovni nedostatak koncentracijskih stolova, konstruirani su višeetažni stolovi (sl. 23). Takvi stolovi mogu biti jednostruki i dvostruki. Prvi imaju 6, a drugi 12 radnih ploha. U usporedbi sa standardnim jednoetažnim stolom, jednostruki troetažni stol može imati 2...2,5 puta veći kapacitet, a dvostruki troetažni stol i 4...5 puta veći kapacitet.

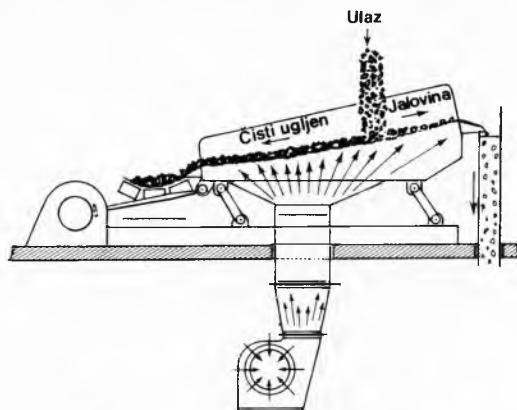
Višestruki su stolovi i tzv. prekretni stolovi (sl. 24). Uređaj se sastoji od 5 ili više ploča montiranih jedna poviše druge, veličine  $180 \times 180$  ili  $90 \times 180$  cm, presvučenih profiliranom gumom ili specijalnim tkaninama. Na ploče se u radnom položaju putem gumenih cijevi nanosi sirovina s mnogo vode. Čestice komponente veće gustoće zapinjat će i zaustaviti se na presvlakama ploča, a materijal manje gustoće otjecat će s vodom preko ploča u ispust za jalovinu. Nakon toga se ploče automatski prekrenu u završni položaj, pa voda za pranje iz prskalica spira istaloženu frakciju veće gustoće kroz ispust za koncentrat. Radni ciklus traje prosječno 6 minuta, a završni 1 minuta. Prekretni stolovi upotrebljavaju se za preradu veoma finih zrna ( $<0,1$  mm) teških minerala, kao što su kasiterit, šelit, kromit, antimonit, zlato i dr.

Kapaciteti koncentracijskih stolova općenito nisu veliki, a zavise od granulacije materijala za preradu. Na stolu površine  $4 \times 1,9\text{ m}$  može se preraditi  $1,2 \cdots 10\text{ t/h}$  rude granulacije  $6 \cdots 1,2\text{ mm}$ , od  $0,8 \cdots 2\text{ t/h}$  za granulaciju  $1/0,15\text{ mm}$ , te od  $0,1 \cdots 0,4\text{ t/h}$  za granulaciju  $<0,15\text{ mm}$ . Za ugljen se postižu veći učinci:  $15\text{ t/h}$  pri preradi klase  $25/10\text{ mm}$ ,  $10 \cdots 12\text{ t/h}$  za klasu  $<12\text{ mm}$  i oko  $8\text{ t/h}$  za klasu  $<6\text{ mm}$ . Za rad jednog stola potrebno je svega  $0,5 \cdots 2,2\text{ kW}$ .

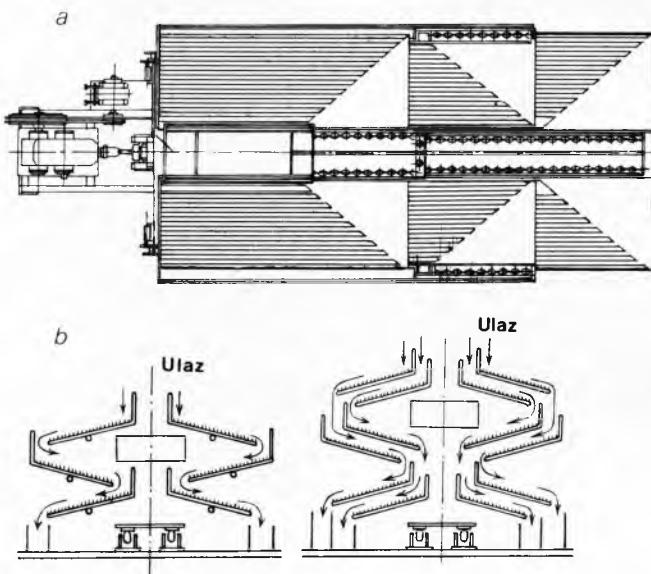
Osim za gravitacijsku koncentraciju, koncentracijski se stolovi primjenjuju i u aglomeracijskoj flotaciji (v. *Flotacija*, TE5, str. 469).

Konstruirani su i *pneumatski* koncentracijski stolovi, koji se uglavnom upotrebljavaju za preradu ugljena, npr. u Engleskoj i SSSR. Kod engleskog stola tipa Birtley (sl. 25) rovni se ugljen dovodi na perforiranu ploču kroz koju odozdo struje zrak pod stalnim pritiskom. Materijal se djelovanjem struje zraka stratificira tako da jalovina najveće gustoće ostaje na stolu, a ugljen kao komponenta manje gustoće srušta se na naniže i odlazi kroz donji ispust. Jalovina male gustoće izdvaja se iz toka materijala odmah pri ulazu i zračnom strujom iznosi kroz gornji ispust. S veličinom radne ploče od  $2,4 \times 2,4\text{ m}$  i pogonskom snagom od  $0,75\text{ kW}$ , kapacitet takvog stola iznosi  $2 \cdots 6\text{ t/h}$ , zavisno od granulacije preradijanog ugljena. Iako se

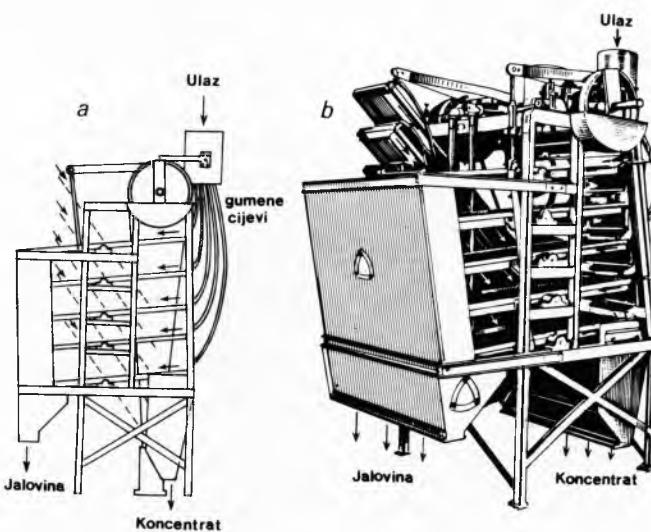
još prije dvadesetak godina u Engleskoj i SAD više od 7% oplemenjivanog ugljena dobivalo na pneumatskim stolovima, u novu se postrojenja takvi uredaji više ne ugrađuju.



Sl. 25. Pneumatski koncentracijski stol tipa Birtley



Sl. 23. Troetažni koncentracijski stol. a tlocrt, b princip rada pri jednostrukoj odnosno dvostrukoj izvedbi



Sl. 24. Prekretni stol. a shematski prikaz radnog položaja (crtkano: završni položaj), b završni položaj, spiranje koncentrata

## KONCENTRACIJA U SUSPENZIJAMA

Koncentracija u suspenzijama (sinonimi: pliva/tone-separacija, koncentracija u teškim sredinama, njem. *Schwimm-Sink-Sortierung*, *Schwerflüssigkeits-Sortierung*, *Schwertrübe-Aufbereitung*, engl. *sink-float separation*, *heavy media separation*, *dense medium separation*, franc. *préparation par milieu dense*, *lavage en milieu* odn. *liqueur dense*, rus. *обогащение в тяжелых суспензиях*, odn. *в тяжелой среде*) postupak je koji se već odavno upotrebljava u laboratorijsima za razlaganje minerala na strukturne sastojke, ali se industrijski primjenjuje tek od dvadesetih godina ovog stoljeća.

Princip separacije u suspenzijama sastoji se u sljedećem: materijal različite gustoće koji treba razdvojiti miješa se s nekom tekućinom s gustoćom između gustoće komponenata materijala. Komponenta veće gustoće u toj će tekućini potonuti, a komponenta manje gustoće isplivati. Prave homogene tekućine, kakve se upotrebljavaju u laboratorijskom radu, ne mogu se ujedno primjeniti i u industrijskom mjerilu jer su ili otrovne, ili korozivne ili suviše skupe. Zato se u industrijskoj praksi upotrebljavaju samo vodene suspenzije, tj. smjese vode i nekog u njoj netopljivog suspenzoida.

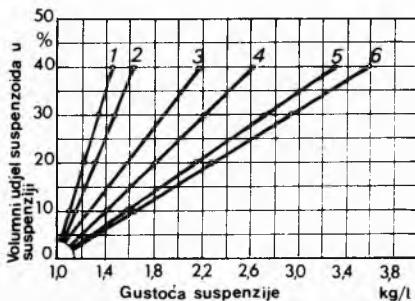
Suspenzija je kao radna sredina prvi put upotrijebljena 1921. godine u SAD. Bio je to Chanceov postupak u kojem se oplemenjivao ugljen u suspenziji vode i pijeska. De Vooys je 1932. u Njemačkoj prvi put upotrijebio barit kao suspenzoid. Na rude je koncentracija u suspenzijama prvi put primjenjena 1936. godine u SAD, i to s galenitom kao suspenzoidom u preradi olovno-cinkovih ruda. Holandanin K. S. Tromp upotrijebio je 1938. godine magnetit kao suspenzoid u preradi ugljena. Iste je godine i ferosilicij upotrijebljen kao suspenzoid u preradi željeznih ruda u SAD.

Danas je koncentracija u suspenzijama nakon flotacije najvažniji oplemenjivački postupak. Tako je npr. 1975. godine samo na preradi ugljena u SR Njemačkoj radilo 112 separatora s kapacitetom od  $15000\text{t/h}$ , što je otprilike 25% ukupne količine pranog ugljena u toj zemlji. U zapadnim se industrijskim zemljama, uključujući SAD, oko 10% oplemenjivanih sirovina preradjuje putem koncentracije u suspenzijama. Od toga rude željeza i mangana čine 50%, rude obojenih metala (Pb, Zn, Cu, Sn) 10%, druge mineralne sirovine (fluorit, magnezit, soli, dijamanti, boksite) 30%, te građevinske sirovine (sljunak, pijesak) 10%.

U Jugoslaviji se taj postupak upotrebljava u preradi ugljena (Lukavac, Kakanj, Banovići, Đurdevik, Kolubara, Breza), olovno-cinkovih ruda (Međica), ruda kroma (Raduša), željeza (Vareš, Demir-Hisar) i nekih nemetalaca.

*Suspenzoidi* mogu biti magnetski, nemagnetski, nemetalni i sintetski. Od magnetskih najvažniji su magnetit (gustoća  $5,1\text{ g cm}^{-3}$ ), ferosilicij sa 85% Fe i 15% Si (6,8), hematit (5,2),

od nemagnetskih galenit (7,5), pirit (4,9–5,2), piritne pržotine (4,1–4,3), od nemetalnih pijesak (2,6), barit (4,25), flotacijska jalovina (2,3–2,6), troska visokih peći (fajalit, 2,5–3,0). Sa sintetskim je suspenzoidima bilo više pokušaja. Tako su u Japanu kao suspenzoid upotrebljavane kockice od olovne gledi i gume, ali zasad nema podataka o široj primjeni sintetskih suspenzoida. Vrlo je važna zavisnost gustoće suspenzije od gustoće suspenzoida i njegovog volumskog udjela u suspenziji (sl. 26).



Sl. 26. Zavisnost gustoće suspenzije od gustoće suspenzoida i njegovog volumskog udjela. 1 separacijska jalovina (gustoća 2,15), 2 pijesak (2,6), 3 barit (4,25), 4 magnetit (5,1), 5 ferosilicij (6,8) 6 galenit (7,5)

Taj udio može iznositi najviše 40%, jer iznad toga viskozitet suspenzije tako naglo poraste da suspenzija postaje praktično neupotrebljiva.

Danas se uglavnom upotrebljavaju magnetski suspenzoidi, u prvom redu magnetit za ugljen i ferosilicij za rude, a samo podređeno i barit. Prednost je magnetskih suspenzoida u tome što se mogu relativno lako regenerirati, tj. prikupiti iz upotrijebljene suspenzije i vratiti u proces. To se čini iz ekonomskih i ekoloških razloga, iako je dio postrojenja za regeneraciju mnogo veći od dijela za separaciju.

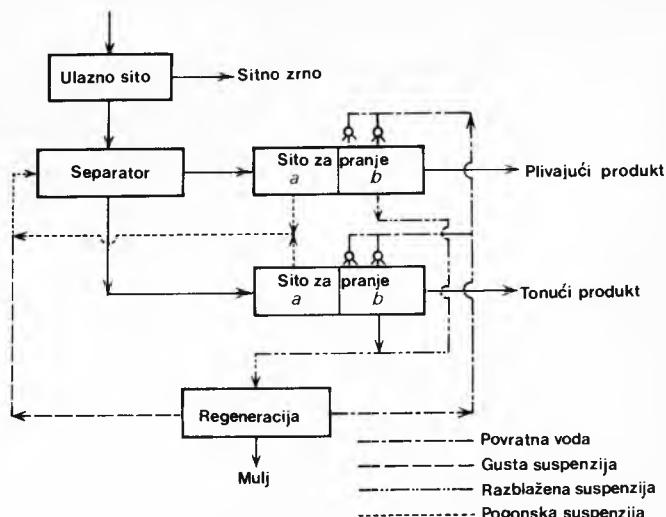
Suspenzoid mora biti tako dalekosežno samljeven da brzina taloženja njegovih zrna ne bude veća od brzine taloženja najstijnih zrna preradivane sirovine. Tako npr. magnetit u separaciji ugljena najčešće sadrži 60–80% zrna  $<0,06\text{ mm}$  i 40–50% zrna  $<0,04\text{ mm}$ . Za ugljen s velikom sraslošću primjenjuje se i granulacija 95%  $<0,04\text{ mm}$ . Granulacija ferosilicija u separaciji rude pomoću koncentracije u suspenzijama iznosi najčešće 0,01–0,1 mm. Ne bi smjelo biti zrna krupnijih od 0,15 mm.

Suspenzoidi moraju imati dovoljnu tvrdoću i ne smiju biti korozivni. Veoma je važna maksimalna gustoća suspenzije koja se može postići s određenim suspenzoidima. Kao grubo pravilo važi da je maksimalno postizava gustoća suspenzije približno jednaka polovini gustoće suspenzoida. U praksi se postižu nešto manje vrijednosti, osim sa fluidiziranim ferosilicijem, s kojim se mogu pripraviti suspenzije s gustoćom od  $3,8\text{ g cm}^{-3}$ . To je maksimalna gustoća suspenzija koja se u koncentraciji u suspenzijama može postići.

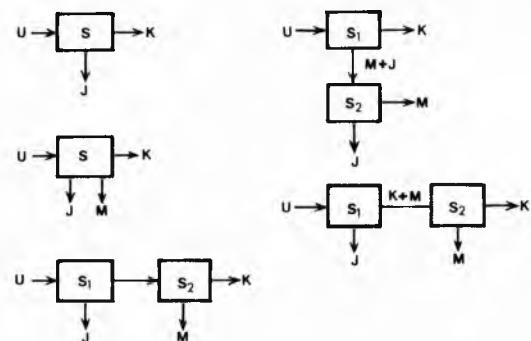
**Granulacija sirovine** za preradu ograničena je naviše veličinom separatora odn. dopunskih i pomoćnih uredaja (lijevaka, sipki, cjevovoda) ili sraslošću sirovine, pa za ugljen dostiže i 1000 mm, a za rude 170–180 mm. Naniže, veličina zrna tehnološki je ograničena time što suviše sitna zrna mogu preuzeti ulogu suspenzoida i tako omesti ili onemogućiti traženu separaciju. Zato se prije sortiranja u uredaju za koncentraciju u suspenzijama uvijek moraju odvojiti klase koje se tu ne mogu preraditi. U modernih separatora, to su za rude klase  $<0,5\text{ mm}$ , a za ugljen, obično, klasa  $<1\text{ mm}$ .

Standardna koncentracija u suspenzijama (sl. 27) sastoji se, upršteno, od tri dijela: pripreme sirovine, separacije i regeneracije. Sirovina se priprema na ulaznom situ gdje se odvaja sitno zrno koje se u primjenjenom separatoru ne može preraditi. U zavisnosti od sirovine takvo sitno zrno može se preraditi drugim prikladnim postupcima, npr. flotacijom. Sirovina se zatim vodi u separator u kojem se obično dobivaju dva produkta: materijal koji pliva (pliva-materijal) i materijal koji tone

(tone-materijal). To mogu biti konačni proizvodi, npr. čisti ugljen i jalovina ili rudni koncentrat i jalovina, ali se podešavanjem gustoće suspenzije mogu dobiti i drugi proizvodi, npr. međuproizvod s jalovinom kao tonući materijal i čisti ugljen kao plivajući materijal. Iza separatora počinje treći dio postupka, tj. regeneracija suspenzije. Oba produkta vode se, odvojeno, na sita za pranje s otvorima koji propuštaju uglavnom samo zrna suspenzoida. Ta su drenažna sita podijeljena na dio za cijeđenje i dio za spiranje. U prvom se dijelu dobiva očiđivanjem obično već više od 90% suspenzije koja je s produktima iznesena iz separatora, te se ona kao pogonska suspenzija vraća direktno u separator. Na drugom su dijelu sita prskalice kojima se spira preostali dio suspenzije i vodi na regeneraciju. Regeneracijom se, u načelu, dobivaju tri produkta: gusta suspenzija, koja se zajedno s pogonskom suspenzijom vraća direktno ili preko neke posude za miješanje u separator, povratna voda, koja se najčešće može upotrijebiti za pranje (prskanje) na drenažnom situ, i mulj koji se odbacuje kao jalovina ili se, ukoliko još sadrži korisne komponente, dalje prerađuje. Postoje separatori koji daju tri produkta, koncentrat, međuproizvod i jalovinu u jednoj radnoj fazi, a proces se može voditi na više načina (sl. 28).



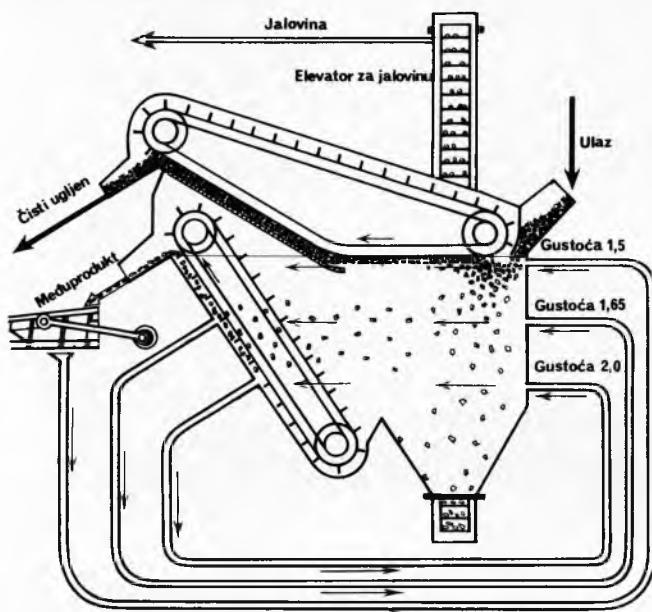
Sl. 27. Standardna shema koncentracije u suspenzijama



Sl. 28. Varijante vođenja koncentracije u suspenzijama. U ulaz, K koncentrat, M međuproizvod, J jalovina, S separator

Gubici suspenzoida, koji se ne mogu izbjegći, važna su stavka s ekonomskog gledišta, a njihova je količina i značajan tehnološki indeks. Oni uglavnom zavise od granulacije preradivane sirovine, svojstava njene površine (hrapavosti i poroznosti) te oblika i gustoće suspenzoida. Ti su gubici samo u izuzetno povoljnim slučajevima manji od 100 g/t preradivane sirovine, a obično iznose za rude 100–500 g/t za krupnu i 400–1200 g/t za sitnu granulaciju, a za ugljen 200–600 g/t za krupnu i 600–1900 g/t za sitnu granulaciju.

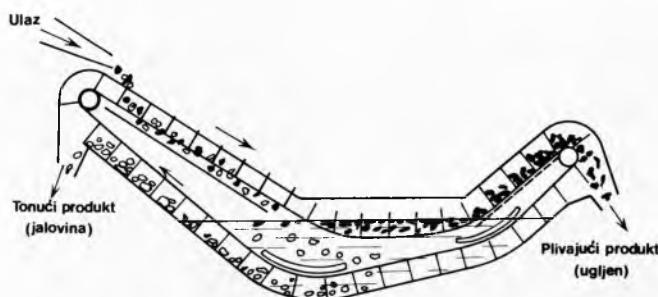
**Tipovi uređaja za koncentraciju u suspenzijama (pliva-tone separatori).** Uredaji se mogu sistematizirati s različitih gledišta: po obliku, po broju produkata, po načinu stabilizacije, suspenzije i drukčije. Danas se u industrijskoj praksi upotrebljava oko 40 različitih izvedbi.



Sl. 29. Uredaj za koncentraciju u suspenzijama tipa Tromp za tri produkta

Prvi separator s magnetskom suspenzijom u industrijskom mjerilu bio je Trompov uredaj (sl. 29). Odlikuje se dvjema karakteristikama: daje tri produkta (ugljen, međuproduct i jalovinu) i radi s polustabilnom suspenzijom. Suspenzija cirkulira kroz uredaj u laminarnim strujama različite gustoće. Podese li se gustoće prema traženim produktima, na površinu suspenzije isplivat će produkt najmanje gustoće (ugljen), međuproduct će biti u sredini, a jalovina, kao produkt najveće gustoće, potonut će na dno. Sva se tri produkta iznose iz uredaja grabuljarima.

U Holandiji je 1940. godine razvijen uredaj tipa SM (*Staats Mijnen*) sa svega jednim grabuljarom i za dva produkta (sl. 30). To je tzv. *plitko korito*, koje se upotrebljava i u Kaknju za preradu ugljena klase 80/10mm.

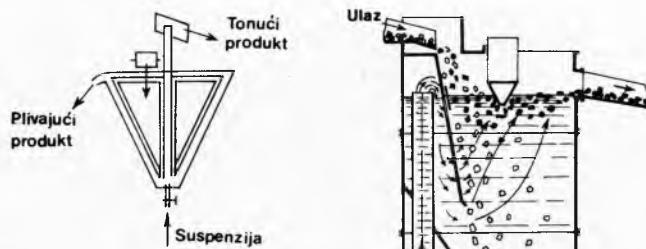


Sl. 30. Uredaj za koncentraciju u suspenzijama tipa SM

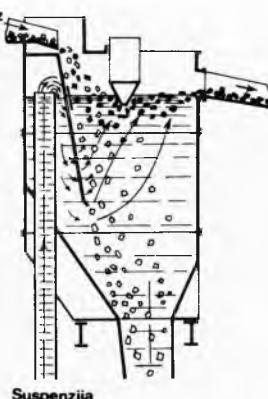
Prvi uredaj za koncentraciju u suspenzijama za rudu, tipa Mascot (sl. 31), tipičan je *konusni separator*, u kojem se stabilnost suspenzije održava agitatorom u vidu velikih lopatica koje polako rotiraju. Tonući materijal iznosi se s dna konusa aerolistom kroz šuplju osovinu agitatora, a plivajući materijal preliva se preko ruba konusa.

Humboldtov separator sandučastog tipa (sl. 32) nema pokretnih dijelova u suspenziji. Upotrebljava se za preradu ugljena (npr. klase 10/1mm, s kapacitetom od oko 120t/h). U nas se takav uredaj upotrebljava u separaciji ugljena u Lukavcu.

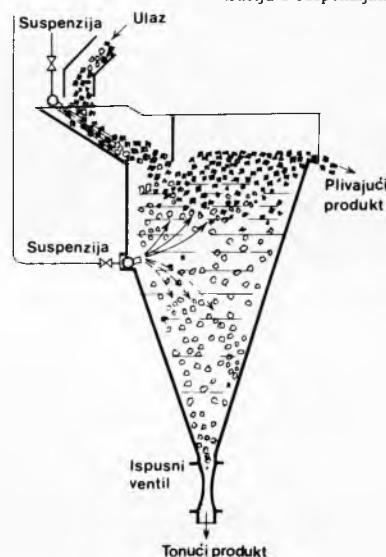
Za preradu finog ugljena (<10mm) može se navesti uredaj tipa BLOFIF (sl. 33). To je posuda oblika obrnute piramide sa



Sl. 31. Uredaj za koncentraciju u suspenzijama tipa Mascot



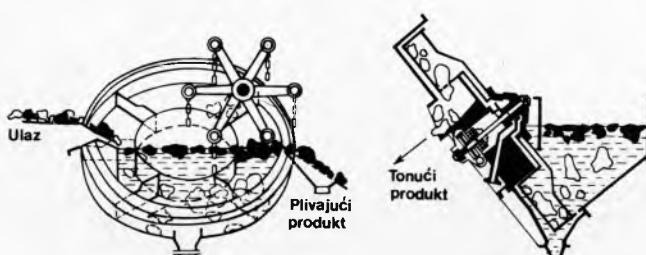
Sl. 32. Sandučasti uredaj za koncentraciju u suspenzijama tipa Humboldt



Sl. 33. Uredaj za koncentraciju u suspenzijama tipa BLOFIF

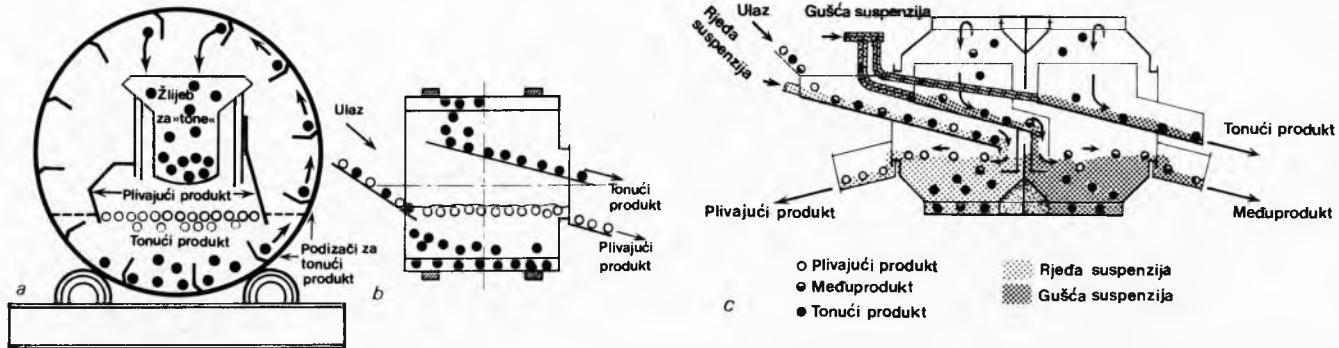
specijalno konstruiranim ispustom za tekući materijal. Ispust ima oblik gumene cjevčice koja se kao ventil naizmjenično otvara i zatvara. Pri zatvorenom će ispustu suspenzija, koja se dodaje kroz ventil na sredini visine posude, imati uzgonsku tendenciju, a pri otvorenom ispustu suspenzija će se usmjeriti naniže. Time se u prvoj fazi pojačava dizanje plivajućeg materijala a u drugoj ubrzava taloženje tonućeg materijala.

Za velike komade ugljena, tj. najveće komade sirovina koji se u rudarstvu prilikom otkopavanja uopće mogu dobiti, npr. površinski dobivenog lignita, veoma se dobro pokazao separator tipa Drewboy (sl. 34). Sastoji se od korita dužine 2-3m i širine 0,8-4m ispod kojeg se pod nagibom od 45° nalazi točak za izvlačenje tonućeg produkta. Promjer je točka 2,8-7,2m, a kapacitet mu iznosi do 450t/h jalovine. Ugljen (plivajući produkt) teče sa suspenzijom kroz korito i preljeva se na suprotnom kraju. U Jugoslaviji se takav separator primjenjuje u preradi lignita, mrkog ugljena i ruda željeza (Kolubara, Đurđevik, Breza, Vareš).



Sl. 34. Uredaj za koncentraciju u suspenzijama tipa Drewboy

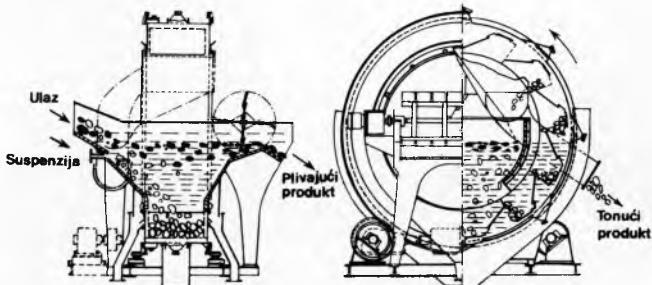
## GRAVITACIJSKA KONCENTRACIJA



Sl. 35. Bubnasti uređaj za koncentraciju u suspenzijama tipa WEMCO. a poprečni presjek bubnja, b uzdužni presjek bubnja za 2 produkta, c uzdužni presjek bubnja za 3 produkta

Postoji cca niz različitih *bubnjastih separatora*. Jedan je od njih tip WEMCO (Western Machinery Company, San Francisco) koji se primjenjuje i u nas u Mežici i Raduši. To je rotacijski bubanj (sl. 35) s promjerom od 1,2...3m i dužinom od 1,2...2,8m. Razina pulpe nalazi se otrprilike na trećini visine promjera bubnja. Tonuci materijal dižu perforirani podizači prilikom rotacije bubnja i ispuštaju u žlijeb (sl. 35a). Plivajući materijal preliva se na strani suprotnoj od ulaza (sl. 35b). Kapacitet takvog jednostrukog bubnja iznosi 25...275t/h (za ugljen i do 350t/h). Pomoću bubnjastog separatora mogu se dobiti i tri produkta, tonuci, plivajući i međuprodukt. Uredaj se tada sastoji od dva bubnja u jednom kućištu (sl. 35c). U prvom se odjelu (bubnju) nalazi suspenzija manje gustoće, pa se kao produkt dobiva materijal koji pliva, koji se odvaja preljevom. Tonuci materijal i međuprodukt prevode se podizačima u drugi odjel. Tu se nalazi suspenzija s gustoćom između gustoća međuprodukta i tonueg materijala. Međuprodukt ispliva na površinu a tonuci materijal sakupi se na dnu, potone, pa se proizvodi odvojeno mogu izvesti iz uređaja.

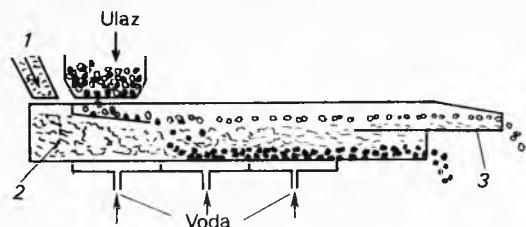
Iz bubnjastih su se separatora razvili *točkasti*. Bubanj se skratio toliko da je to još samo točak za iznošenje tonueg materijala dok plivajući materijal prolazi kroz centralno smješteno korito. U točkastog separatora tipa Teska (sl. 36) promjer točka iznosi do 4,7m, širina ulaza i ispusta do 3m, a kapacitet do 200t/h.



Sl. 36. Uredaj za koncentraciju u suspenzijama tipa Teska

Posebna je varijanta koncentracije u suspenzijama tzv. *Stripa-postupak*, razvijen 1953. godine u Švedskoj za oplemenjivanje kompleksnih ruda željeza (hematita s magnetitom). Tu se umjesto suspenzije upotrebljava posteljica s oko 60 volumnih postotaka čvrstih čestica. Na taj se način može postići i veća separacijska gustoća nego u uobičajenim postupcima za koncentraciju u suspenzijama, praktično do  $3,4 \text{ g cm}^{-3}$ . Posteljica se sastoji od željeznog (magnetitsko-hematskog) gravitacijskog koncentrata pretežno granulacije 1/0,25mm. Ta se relativno gruba posteljica radi savlađivanja njene velike plastičnosti mora pokretati, pa zato radno korito oscilira slično koncentracijskom stolu. Sirovina se zajedno s materijalom posteljice dodaje na jednom kraju 6m dugog i oko 1,3m širokog njihajnog korita (sl. 37). Zbog stalnog rastresanja posteljice njihanjem, zrna veće gustoće istalože se na dnu, a zrna manje gustoće plivaju na površini. Na ispusnom se kraju proizvodi razdvajaju horizontalno.

talnim separacijskim nožem. Rastresanje posteljice može se poboljšati dodavanjem malih količina vode odozgo. Kapacitet varira prema veličini uređaja od 40...100t/h. Postupak se i danas primjenjuje uglavnom u oplemenjivanju ruda željeza, osobito onih s malim udjelom grubosraslih zrna.

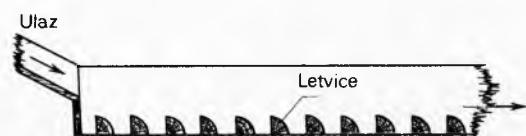


Sl. 37. Stripa-postupak: njihajno korito. 1 dovod suspenzije, 2 posteljica, 3 separacijski nož

Bilo je i pokušaja s tzv. *suhim postupkom* koncentracije u suspenzijama. Kao radni medij upotrijebljen je pjesak, a predlagana je i mješavina pjeska, magnetita i ferosilicija. Medij bi se uzgonskom zračnom strujom održavao u rastresitom (*fluidnom*) stanju, pa bi komponenta manje gustoće (npr. ugljen) imala ostati na njegovoj površini dok bi komponenta veće gustoće tonula. Nijedan od predloženih i patentiranih postupaka dosad nije našao praktičnu primjenu.

### ŽLJEBOVI

Žljebovi (njem. *Rinnen*, *Gerinne*, engl. *sluices*, *vanners*, franc. *coulloirs*, rus. *шлюзы*, *желоба*) mogu se smatrati najstarijim uređajima za oplemenjivanje, kakvim se vjerojatno koristio već u primitivni čovjek za prikupljanje teških metala, npr. zlata i kositra, u koritima vodenih tokova. U najprostijoj izvedbi to su blago nagnuta drvena korita, kroz koja materijal prolazi u relativno brzoj vodenoj struji. Zrna najmanje gustoće voda će nositi najdalje, pa će se i preliti preko ispusnog praga, a zrna veće gustoće istaložit će se po dnu na odstojanjima obrnuto proporcionalnim svojoj gustoći. Radi sprečavanja nadnadnog odnošenja istaloženih zrna u preliv i pojčanja djelotvornosti, obično se dno žljeba pregrađuje niskim poprečnim drvenim ili željeznim letvicama, riflama (sl. 38). Za preradu



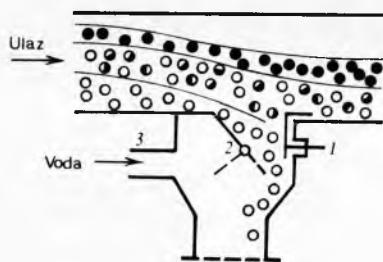
Sl. 38. Uzdužni presjek drvenog žljeba

vrlo sitnog materijala (<0,1mm) ponekad se umjesto letvica upotrebljava neka meka presvlaka, npr. baršunasta tkanina, rogožina, pust, profilirana guma. Runo se od pamativjeka upotrebljava za hvatanje zlatnih zrnaca u vodenoj strui.

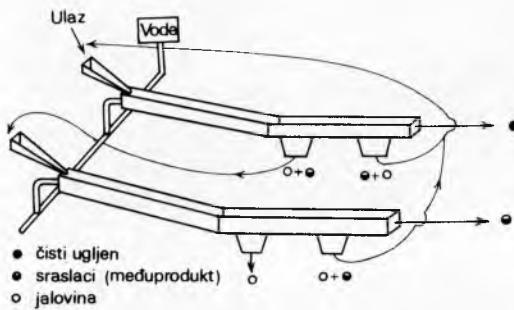
Dužina je žljebova velika, 40–50m, a ponekad i do nekoliko stotina metara. Širina varira od 0,3 do 1,5–2m a dubina od 0,15–1m. Rad je diskontinuiran, jer se dobiveni koncentrat mora povremeno vaditi.

Žljebovi se i danas upotrebljavaju za preradu sirovina u kojih koncentracijski kriterij iznosi bar 3,5, npr. za ispiranje zlata ili platine iz naplavina (aluviona), ispiranje mulja koji sadrži kasiterit, vađenje metalnih čestica iz otpadnog materijala. Žljebovi se mogu upotrijebiti i za ispiranje škriljca i prita iz ugljena.

Veliki su nedostaci žljebova u tome što traže mnogo prostora, što rade diskontinuirano i što su im kapaciteti mali. S druge strane, pogonski su im troškovi veoma niski, a za neke sitnozrne minerale drugim se postupcima za opremanjivanje, npr. flotacijom, ne mogu se postići zadovoljavajuća iskorisćenja. Zato je uvek bilo pokušaja da se žljebovi usavrše. Tako je 1907. u Belgiji konstruiran tzv. *rheo-žljeb*, uređaj za opremanjivanje ugljena (klase 100/0,3mm) koji je radio kontinuirano. To je nagnuto korito na dnu kojeg se u određenim razmacima (1–1,5m) nalaze specijalni ispusti, tzv. rheo-boksovi



Sl. 39. Rheo-boks



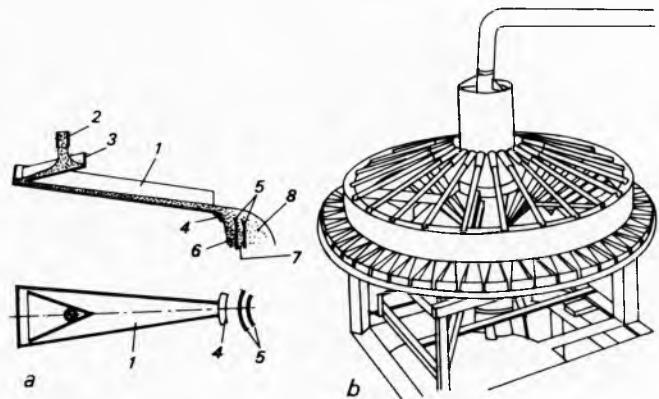
Sl. 40. Shema rheo-prališta za tri produkta

(sl. 39), kroz koje se ispuštaju najniži slojevi na tom dijelu korita. Veličina otvora može se regulirati zatvaračem 1, a oscilacijskim se zasunom 2 sprečava nagli prodor teške komponente. Istu funkciju ima i voda koja se dodaje kroz cijev 3. Njena se brzina strujanja podešava tako da kroz isput izlazi samo frakcija najveće gustoće.

Dužina rheo-korita zavisi od granulacije prerađivanog ugljena, te varira od 2,5–4,5m za grubu (primarnu) sekciju postrojenja, do 25m za finu (sekundarnu) sekciju. Nagib korita u gruboj sekciji iznosi 10–15° i zatim opada do fine sekcije, gdje iznosi samo oko 3°. Širina varira od 0,3–0,8m, a kapacitet iznosi od 1,0–1,4t/h na cm širine (ukupno, 25–160t/h). Prednost je rheo-žljebova u tome što se može dobiti proizvoljan broj produkata ako se iz uzastopnih boksova ispušta najdonji sloj materijala (sl. 40).

Rheo-žljebovi više se ne ugrađuju u nova postrojenja, ali ih još ima u nekim ugljenokopima u Belgiji i Francuskoj, a kod nas u Aleksincu.

Za vrijeme i neposredno nakon II svjetskog rata razvijeno je nekoliko novih tipova žljebova, od kojih se tzv. *lepezasti žljebovi* i danas primjenjuju u opremanjivanju sitnih klasa (3/0,1mm) teških minerala iz naplavina, te ruda željeza, olova i rijetkih metala. Lepezasti žlijeb tipa Cannon (sl. 41) blago je

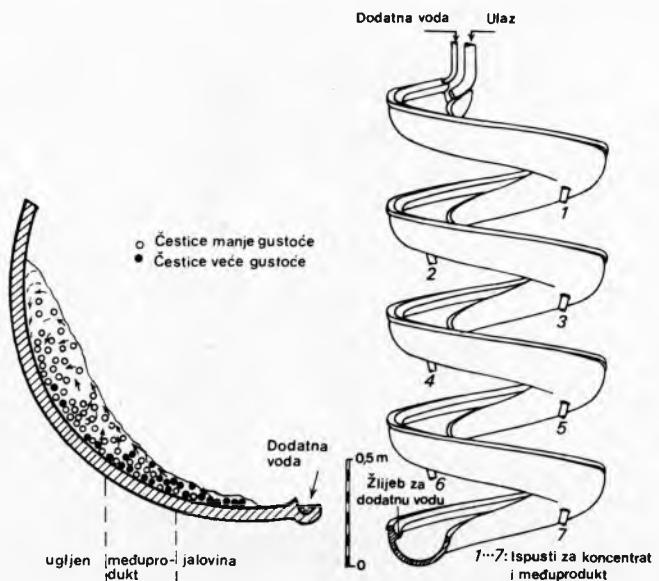


Sl. 41. Lepasty žlijeb tipa Cannon. a shematski presjek i tlocrt, b radna dispozicija; 1 korito, 2 dovodna cijev, 3 ulazna sipka, 4 ispustni prsten, 5 separacijski noževi, 6 komponenta veće gustoće, 7 međuprodukt, 8 komponenta manje gustoće

nagnut i sužava se od ulaza prema ispustu (npr. od 130–230 na 10–25mm, pri dužini od 600–1200mm). Materijal se dodaje u vodenou pulpi sa 20–30 volumnih postotaka čvrstog. Niži se i gušći slojevi zbog trenja o dno kreću sporije, a viši i rjeđi brže. Kako korito postaje uže, brzina se povećava, a slojevi se dijele i po vertikali. Tako se na izlazu obrazuje okomita lepeza po gustoći frakcija u pulpi, pa se frakcije mogu dobiti kao posebni produkti. U praksi se pojedinačni žljebovi udružuju u veću cjelinu. Uredaj prikazan na sl. 41b sadrži 48 žljebova, površina mu je 3,66m<sup>2</sup>, a kapacitet varira između 27 i 45t/h.

Sličnih žljebova ima cito (Lamex, Hobart, Carpco, York i dr.), a od njih se neki primjenjuju i za opremanjivanje sitnot ugljena. Prednosti su lepezastih žljebova jednostavna konstrukcija, veliki kapacitet po prostornoj jedinici i niski pogonski troškovi, a nedostaci su mala separacijska oštrina i velika osjetljivost na kolebanja u količini i gustoći ulaznog materijala.

Konstrukcijski su drukčije riješeni *spiralni žljebovi* (Reichert, Coastal Chemicals, Wyong Minerals, Trelleborg i dr.), od kojih se najviše upotrebljava Humphreysova spirala (sl. 42). To je zavojiti žlijeb, sa četiri do pet zavoja za rude odnosno šest za ugljen i nemetale. Promjer uređaja varira od 0,6 do 1,2m. Upotrebljava se za dobivanje teških minerala iz naplavina (ilmenita, cirkona, rutila i dr.), zatim ruda željeza, olova, kroma, volframa, fosfora, te sitnog ugljena. Sirovina (optimalna klasa 2/0,1mm) u suspenziji (1 dio čvrstog na oko 5 dijelova vode)



Sl. 43. Shematski presjek žlijeba Humphreysove spirale

Sl. 42. Vanjski izgled Humphreysove spirale

dodaje se pri vrhu. Prilikom protjecanja kroz žlijeb na materijal utječu gravitacija, trenje i centrifugalna sila. Čestice veće gustoće tonu brzo na dno žlijeba, gdje je usporavanje trenjem najveće i centrifugalna sila najmanja. Te se čestice ispuštaju kroz centralne otvore na dnu žlijeba. Čestice manje gustoće tonu sporije, pa ih centrifugalna sila baca na vanjski rub žlijeba (sl. 43). One teku do kraja žlijeba, gdje se ispuštaju. Prednosti su ovih uređaja mnogobrojne: minimalna posluga (1 radnik na 50 i više spirala), malo habanje, nije potrebna pogonska energija, nema pokretnih dijelova, mali potreban prostor, relativno veliki kapacitet (pri radnoj plohi od  $1\text{m}^2$  jedna spirala može dati  $1\cdots 2\text{t/h}$  produkata). Broj upotrijebljenih uređaja zavisi od traženog ukupnog kapaciteta, pa ih može biti i nekoliko stotina u jednom postrojenju.

LIT.: K. Ćukmasov, Obogaćivanje mineralnih sirovina u teškim tečnostima i suspenzijama, Izd. preduzeće Ministarstva rudarstva FNRJ, Beograd 1950. — T. Г. Фоменко, Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых, Москва 1966. — H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Band II. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1967. — И. С. Благов, Обогащение углей на концентрационных столах, Москва 1967. — М. В. Циперович, В. П. Курбатов, В. В. Хворов, Обогащение углей и тяжелых суспензиях, Москва 1974.

R. Marušić



Sl. 2. Mjedena zdjela za drveni ugljen (Španjolska, 15. st.)

**GRIJANJE**, postupak održavanja određene temperature u stambenim i radnim prostorijama iskoriscivanjem energije izgaranja krutog, tekućeg ili plinovitog goriva, odnosno pretvaranjem električne energije u toplinu (u nekim slučajevima i koštenje prirodnim izvorima topline).

Zadatak je uređaja za grijanje da osigura ljudima u radnim i stambenim prostorijama ugodan rad i boravak. U hladnim godišnjim razdobljima ugrijavanjem okolišnog zraka regulira se odavanje topline čjevećeg tijela tako da se postigne ravnoteža topline između tijela i okolice i da se čovjek osjeća toplinski i fiziološki lagodno, tj. da se nalazi u pogodnom fiziološkom ambijentu. Faktori koji utječu na lagodnost, osim načina odjevanja, još su i temperatura zraka, srednja temperatura zidova, te gibanje, vlažnost i čistoća zraka. Grijanjem se može utjecati samo na temperaturu zraka i srednju temperaturu zidova. Utjecaj obaju ovih faktora označuje se skupno kao *osjetna temperatura*. Utjecaji ostalih faktora mogu se realizirati samo s uređajem za klimatizaciju zraka. Takvi uređaji smatraju se za najsvršenija tehnička sredstva za postizavanje ugodne klime u prostorijama (v. *Ventilacija i klimatizacija*).

Najstariji oblik grijanja *drvima* jest *otvoreno ložiste*, smješteno na prikladnoj podlozi u sredini prostorije s otvorom u stropu. Tu se toplina prenosi pretežno zračenjem od plamena i žara. Nedostatak je tog loženja zadimljenost



Sl. 1. Antička brončana zdjela za grijanje drvenim ugljenom



Sl. 3. Bakrena zdjela za drveni ugljen (Italija, 16. st.)



Sl. 4. Kineska bakrena zdjela za drveni ugljen