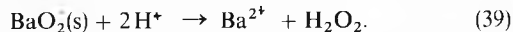
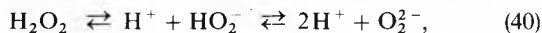


Budući da je ta reakcija endotermna, snižavanjem se temperature njena ravnoteža pomiče nalijevo. (Barij-oksidi prima kisik i prelazi u peroksid).

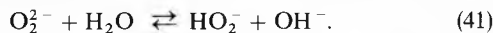
Djelovanjem kiselina na takve perokside nastaje vodik-peroksid, npr. reakcijom



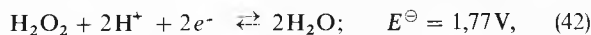
Ako se za tu reakciju upotrijebi sulfatna kiselina, istaloži se netopljivi barij-sulfat, a vodik-peroksid zaostaje u otopini. Prema toj reakciji mogu se čvrsti peroksidi smatrati solima vodik-peroksida. Zaista, u vodenim je otopinama vodik-peroksid slaba kiselina koja disocira u dva stupnja



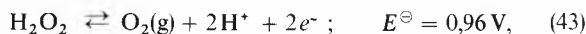
Pri tom je konstanta disocijacije prvog stupnja reda veličine 10^{-12} mol/l. Zbog male konstante disocijacije peroksid-ion je jaka baza koja protolitički reagira s vodom stvarajući ione HO^- i odgovarajuće hidrokside:



Zbog stupnja oksidacije -1 peroksidi mogu primiti elektrone. Time nastaju spojevi kisika sa stupnjem oksidacije -2 , npr.

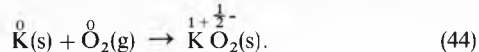


pa djeluju kao oksidacijska sredstva. Također peroksi-oksidi mogu otpustiti elektrone. Time se stupanj oksidacije kisika snižuje na 0 (nastaje elementarni kisik), npr.:



što znači da oni djeluju i kao redukcijska sredstva. Oksidacijsko i redukcijsko djelovanje peroksidi pokazuju i u lužnatom mediju. Tada je oksidacijsko djelovanje peroksida slabije, ali je redukcijsko jače.

Spojevi kisika sa stupnjem oksidacije $-1/2$. Teži elementi skupine alkalijskih metala (kalij, rubidij, cezij) reagiraju s kisikom stvarajući spojeve tipa MO_2 , tzv. superokside. Npr. ako kalij izgara u struji kisika, nastaje kalij-superoksid KO_2 :



I neki drugi metali mogu stvarati superokside, ali ne izravnom reakcijom metala i kisika, nego obično uvođenjem kisika u otopinu metala u kapljevitom amonijaku, ili oksidacijom smjese peroksida metala i vodik-peroksida dobivenog iz vodenih otopina.

Superoksidi su općenito ionski spojevi (s ionima M^+ i O_2^-). Zbog toga što ion O_2^- ima neparni broj elektrona, superoksidi su obojeni, paramagnetični i nestabilni spojevi. Mogu postojati samo u čvrstom stanju. U dodiru s vodom disproporcioniraju na elementarni kisik i HO_2^- -ion:



Zagrijavanjem se superoksidi razlažu na metalni oksid i kisik. Upotrebljavaju se kao prikladan izvor kisika za maske za disanje (v. *Kalij*, TE 6, str. 650; v. *Natrij*).

LIT.: *Gmelin Institut*, Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, System Nr. 3, Sauerstoff. Weinheim, od 1943. dalje. — *American Chemical Society*, Ozone chemistry and technology. New York 1959.

S. Lipanović

KLASIRANJE, postupak procesne tehnike za diobu zrnatih materijala na klase, i to ili prema veličini i obliku ili prema sutaložnosti. Klase su grupe zrna približno jednakih dimenzija. Dioba prema veličini odvija se na prosjevnim površinama, a prema sutaložnosti u klasirnim aparatima, klasifikatorima u užem smislu.

Dioba na prosjevnim površinama označava se kao sijanje i ono se u industrijskoj praksi primjenjuje uglavnom za zrna veća od 1 mm, dok se sitnija zrna klasiraju u klasifikatorima. Samo pri povoljnim svojstvima prerađivanog materijala mogu se sijanjem odijeliti i zrna do 0,1 mm. Glavno područje primjene klasifikatora obuhvaća granulacijski raspon od 4–0,5 mm, a za zrna 0,5–0,1 mm treba posebno razmotriti svaki pojedini slučaj.

Veličina zrna kao osnovni tehnološki indeks klasiranja jednoznačno se može definirati samo za pravilne oblike, tako za kuglu promjerom i za kocku duljinom brida. Za nepravilne oblike, kakvi se u prirodi obično susreću, veličina zrna mora se drukčije definirati, a definicija zavisi od primijenjene metode. U tabl. 1 nalazi se pregled najviše upotrebljivanih definicija.

Tablica 1

KARAKTERISTIČNI PROMJERI ČESTICA NEPRAVILNOG OBLIKA

Oznaka	Simbol	Definicija	Matematički izraz
Volumski promjer	d_v	Promjer kugle s volumenom jednakim volumenu čestice	$d_v = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}$
Površinski promjer	d_s	Promjer kugle s površinom jednakom površini čestice	$d_s = \sqrt{\frac{S}{\mu}}$
Stokesov promjer	d_{St}	Promjer kugle koja u fluidu pada laminarno	$d_{St} = \sqrt{\frac{18\eta v_{St}}{\Delta\rho g}}$
Promjer sita	d	Minimalna dimenzija otvora sita	
Projicirani promjer	d_p	Promjer kruga jednakog površini projekcije čestice u stabilnom položaju	$d_p = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$
Feretov promjer	d_F	Razmak među paralelnim tangentama na projiciranu površinu	
Martinov promjer	d_M	Duljina sekante koja projiciranu površinu čestice dijeli na dvije jednake polovine	

Najčešće se upotrebljava *ekvivalentni promjer*, tj. promjer kugle koja ima jednaki volumen kao nepravilno zrno ili jednaku površinu ili pak jednaku brzinu padanja u nekom mediju (vodi ili zraku). Pored ekvivalentnog promjera važno je poznavati specifičnu površinu i sferičnost zrna. Specifična površina zrnatih materijala funkcija je ekvivalentnog promjera te se može definirati ili kao specifična površina reducirana na jedinicu mase:

$$a_m = \frac{\text{površina zrna}}{\text{masa zrna}} = \frac{S}{m} \quad (1)$$

ili kao specifična površina reducirana na jedinicu volumena:

$$a_v = \frac{\text{površina zrna}}{\text{volumen zrna}} = \frac{S}{V} = a_m \rho \quad (2)$$

gdje je ρ gustoća zrna.

Odstupanje realnog oblika zrna od idealiziranog okruglog oblika izražava se sferičnošću zrna

$$\varphi = \frac{\text{površina kugle s volumenom zrna}}{\text{površina zrna}} = \frac{S}{S_z} \quad (3)$$

Kocka ima, npr., sferičnost 0,806, a tetraedar 0,672.

Granulometrijska analiza služi za utvrđivanje udjela pojedinih klasa zrna u nekom zrnatom kolektivu. Obično se provodi pomoću tzv. laboratorijskih standardnih sita. Standardizirane su prosječne površine (oblik, materijal, dimenzije), oblik otvora sita i omjer između dvije sukcesivne veličine otvora (modul).

Internacionalni standardi za sita imaju dug historijski razvoj. W. S. Tyler (1910) predložio je sustav koji se i danas mnogo upotrebljava. Osnovica je

toga sustava broj jednakih četvrtastih otvora na 1". Promjer pletene žice sita jednak je stranici otvora. Modul je $\sqrt{2}$, što znači da slijedeće sito u nizu ima za $\sqrt{2} = 1,414$ veći otvor od prethodnog. Američko udruženje za ispitivanje materijala (ASTM) izradilo je 1913. god. standarde s modulom $\sqrt[4]{2} = 1,189$, a u Evropi su se njemačke norme (DIN 1171) iz 1926. god. temeljile na broju petlji na cm^2 . Promjenom njemačkih normi u 1957. god. uvedeni moduli R 10 ($\sqrt[10]{10} = 1,259$) i R 20 ($\sqrt[20]{10} = 1,122$) postali su osnova preporuka Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO). Ta je organizacija izdala 1977. god. norme ISO 565—1972 kao međunarodnu preporuku, na kojoj se zasnivaju i JUS standardi o sitima. Osnova su već spomenuti moduli R 10 i R 20, te modul R 40/3 ($\sqrt[40/3]{10} = 1,1885$).

U osnovnom nizu s modulom R 10 uzastopni su članovi s otvorima (za okruženo):

1,00 1,25 1,60 2,00 2,50 3,20 4,00 mm

a u dopunskom nizu

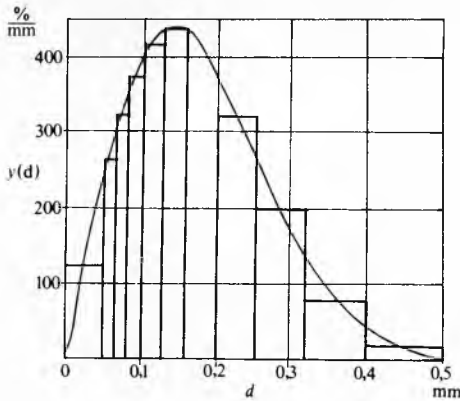
1,00 1,12 1,25 1,40 1,60 1,80 2,00 mm.

Za laboratorijska sita predviđeni su otvori od 0,02 do 16 mm (za sita s modulom R 40/3 najmanji je otvor 0,022 mm). Laboratorijska sita izrađena su od pletene mreže, a sita su okrugla s promjerom od 200 mm. Za industrijska sita vrijede isti moduli, ali s otvorima od 1 do 125 mm.

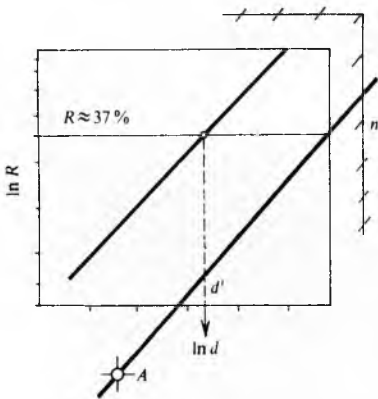
Interpretacija granulometrijske analize. Rezultati granulometrijske analize najčešće su prikazani grafički i to kao krivulje granulacijske raspodjele (sl. 1). Ona prikazuje udio pojedinih klasa zrna (npr. zrna veličine između d_1 i d_2 mm). Relativna učestalost y klase zrna nanijeta na ordinatu iznosi

$$y = \frac{q}{d_2 - d_1} (\%/mm) \quad (4)$$

gdje je q maseni udio (%) klase zrna koja ima dimenzije od d_2 do d_1 mm.



Sl. 1. Krivulja granulacijske raspodjele u zavisnosti od veličine zrna



Sl. 2. Dijagram Rosin-Rammler-Sperling-Bennet

Granulometrijski sastav većine prirodnih materijala ima krivulju raspodjele koja odgovara RRSB (Rosin-Rammler-Sperling-Bennet) raspodjeli koja je određena izrazom

$$R = \exp \left[- \left(\frac{d}{d'} \right)^n \right] \quad (5)$$

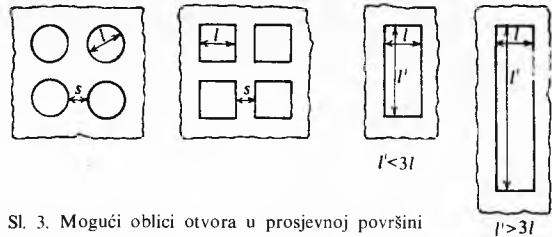
gdje je R relativni odsjev kao funkcija veličine zrna, d' je veličina zrna za koju odsjev ima vrijednost $R = 1/e = 0,368$, a n koeficijent ravnomjernosti (za mnoge materijale $n = 0,7 \dots 1,4$). Dvostrukim logaritmiranjem izraza (5) dobiva se

$$\ln \ln \frac{1}{R} = n \ln d + \text{const.} \quad (5a)$$

U koordinatnom sustavu $\ln d, \ln \ln \frac{1}{R}$ relacija (5a) prikazana je pravcem (sl. 2) s koeficijentom smjera n .

KLASIRANJE SIJANJEM

Sijanje je postupak diobe znatih materijala prema veličini i obliku koji se izvodi na sitima, suho ili mokro. Sita su uređaji koji se sastoje od dva osnovna dijela: prosjevne površine i uređaja za pogon. Prosjevne površine mogu biti izvedene od šipki, perforiranih ploča ili mreža od upletene žice. Šipke su željezne ili čelične. Perforirane ploče izrađuju se najčešće od čeličnih limova, ali se u novije vrijeme sve više upotrebljavaju i ploče od gume ili plastičnih masa. One imaju pravilno raspoređene pravokutne ili okrugle otvore (sl. 3). Žičana mreža obično je od čeličnog pletiva, ali može biti, mada rijetko, i od bakrenog, brončanog, mjeđenog pletiva, pa i od tekstilnih vlakana. Prosjevne su površine pokretne ili nepokretne; nepokretne su skoro uvijek sastavljene od šipki.



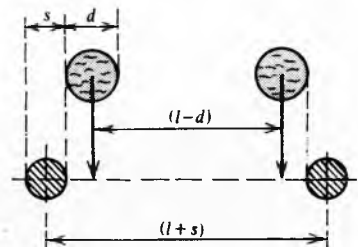
Sl. 3. Mogući oblici otvora u prosjevnoj površini

Zadatak je sita da omogući transport prerađivanog materijala po prosjevnoj površini, neposredni kontakt zrna dimenzije d s otvorima dimenzije l na toj površini i prolaz zrna kroz otvore. Ako je $d < l$, zrno će proći kroz otvore, i to je *prosjev* (podrešetni proizvod, podzrno), a ako je $d > l$, zrno ne može proći kroz otvor, ono se transportira po prosjevnoj površini i silazi s nje na donjem kraju kao *odsjev* (nadrešetni proizvod, nadzrno). Svako sito, prema tome, uvijek daje dva proizvoda, prosjev i odsjev. Pri tom se pojavljuje problem vjerojatnosti prolaska zrna kroz otvore. Uzme li se u obzir i promjer žice pletiva s (sl. 4), vjerojatnost prolaza v za jedno zrno bit će:

$$v = \left(\frac{l-d}{l+s} \right)^2 = \left(\frac{l}{l+s} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{d}{l} \right)^2 \quad (6)$$

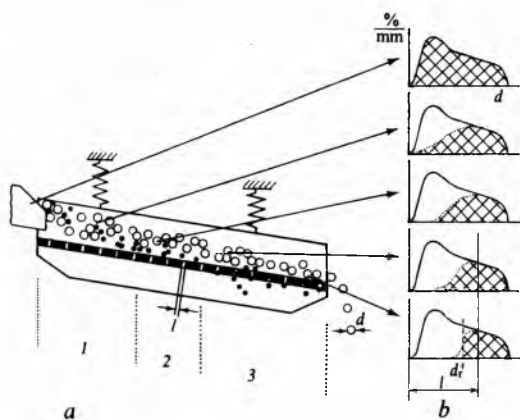
gdje je $\frac{l}{l+s}$ relativna korisna prosjevna površina koja zavisi od oblika otvora. Najmanju relativnu korisnu površinu imaju sita s okruglim, a najveću s pravokutnim otvorima. Kvocijent d/l definira zrna tzv. kritične veličine. To su zrna s omjerom $d/l > 0,8$ kad vjerojatnost prolaza kroz sito postaje vrlo mala ($v \rightarrow 0$).

U praktičnom se radu na prosjevnoj površini ne nalazi samo jedno zrno već sloj različite debljine, tzv. posteljica, koja se



Sl. 4. Vjerojatnost prolaza zrna kroz otvor

djelovanjem mehaničkih sila i gravitacije ili samo gravitacije kreće po toj površini (sl. 5).



Sl. 5. Vjerojatnost prolaza posteljice kroz prosjevnu površinu. *a* proces na situ, *b* promjena u granulaciji za vrijeme procesa: 1 stratifikacija, 2 probiranje, 3 prolaz prosjeva

Vjerojatnost položaja nekog zrna u posteljici ovisi o difuzijskom koeficijentu i koeficijentu miješanja. Difuzijski koeficijent zavisi od nasipnog koeficijenta materijala, površine sita, amplitude i frekvencije oscilacija prosjevne površine, granulometrijskog sastava, gustoće i brzine kretanja zrna, te specifičnog kapaciteta sita. Koeficijent miješanja zavisi od nasipnog koeficijenta, koeficijenta sisanja K_v (o kojem će još biti riječi), gravitacijske sile, otpora strujanju (za mokro sisanje), tlačne sile, granulometrijskog sastava, oblika zrna, gustoće i brzine kretanja zrna, te specifičnog kapaciteta sita. Treba li prosijati neku frakciju s velikim specifičnim kapacitetom i velikom vjerojatnošću prolaza moraju se osigurati optimalne vrijednosti spomenutih dvaju koeficijenata. Difuzijski koeficijent se povećava povećanjem amplitude i frekvencije oscilacija sita, te povećanjem koeficijenta sisanja K_v , a koeficijent sisanja kad resultantna sila prosijavanja djeluje okomito na prosjevnu površinu. To se postiže djelovanjem zračnog mlaza na površinu sita (laboratorijska sita) ili vodenog mlaza kad se primjenjuje mokro sisanje.

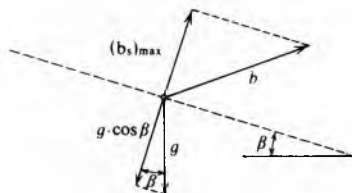
Rad sita može se ocijeniti pomoću dva bezdimenzijska koeficijenta: koeficijent sita (Frondeov koeficijent) K i koeficijent sisanja K_v . Koeficijent sita karakterizira dinamičko opterećenje uređaja za sisanje, a određen je relacijom

$$K = \frac{a\omega^2}{g} \approx \frac{an}{900}, \quad (7)$$

a koeficijent sisanja koji karakterizira ubrzanje zrna na prosjevnoj površini definiran je izrazom

$$K_v = \frac{b_{s\max}}{g \cos \beta}. \quad (8)$$

U relacijama (7) i (8) a je amplituda oscilacija prosjevne površine (m), n frekvencija oscilacije prosjevne površine (min^{-1}), g ubrzanje gravitacije (ms^{-2}), $b_{s\max}$ komponenta maksimalnog ubrzanja zrna okomita na prosjevnu površinu (ms^{-2}), a β nagib prosjevne površine prema horizontali (sl. 6).



Sl. 6. Ubrzanje zrna prilikom sisanja

Kad sito linearno oscilira, koeficijent sisanja K_v može se odrediti pomoću veličina prikazanih na sl. 7. Obodna je brzina pogonskog kotača $v = a\omega$, pa je brzina kretanja pogonskog

$$v_k = v \cos \varphi = a\omega \cos(\omega t). \quad (9)$$

Ubrzanje u smjeru poluge iznosi

$$b = \frac{dv_k}{dt} = -a\omega^2 \sin(\omega t), \quad (10)$$

pa je ubrzanje u smjeru okomitom na sito

$$b_s = b \sin(\alpha + \beta) = -a\omega^2 \sin(\omega t) \sin(\alpha + \beta). \quad (11)$$

Ubrzanje je od gravitacije u istom smjeru

$$g_s = g \cos \beta. \quad (12)$$

Zrno će se odvojiti od sita kad je $b_s = g_s$. Ako se postavi da je $b_s = g_s$ i da je $\omega t = \varphi_1$, dobiva se

$$\sin \varphi_1 = \frac{g \sin \beta}{a\omega^2 \sin(\alpha + \beta)}, \quad (13)$$

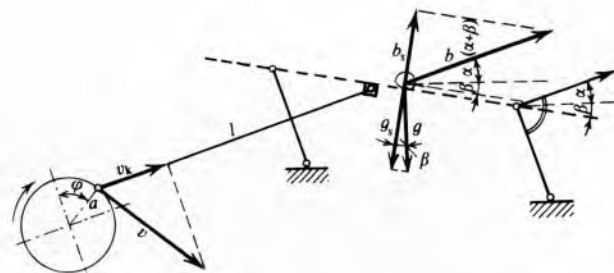
što odgovara recipročnoj vrijednosti koeficijenta sisanja K_v (8), pa je

$$K_v = \frac{a\omega^2 \sin(\alpha + \beta)}{g \cos \beta}, \quad (14)$$

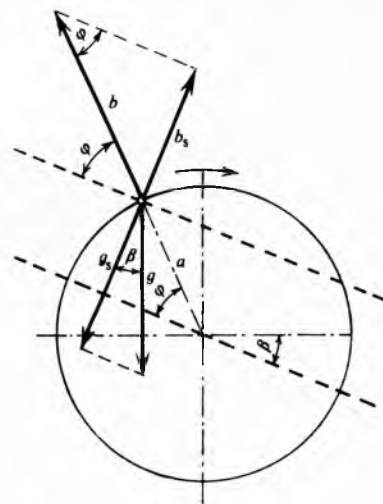
što se može izraziti i pomoću koeficijenta sita K (7), pa se dobiva

$$K_v = K \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}. \quad (15)$$

Kut α je kut odbacivanja zrna koji je određen položajem opruga na koje se oslanja prosjevna površina. S povećanjem koeficijenta sisanja povećava se i kut α pa će zrno biti odbacivano od površine sita.



Sl. 7. Ubrzanje zrna u linearno oscilirajućem situ



Sl. 8. Ubrzanje zrna na prosjevnoj površini sa zatvorenim putanjom

Na sitima s kružnim putanjama (sl. 8) zrna se kreću neovisno o tome da li se sita pokreću ekscentrom ili pomoću opruga. Ubrzanje u smjeru okomitom na površinu sita iznosi

$$b_s = b \sin(\omega t) = a\omega^2 \sin(\omega t). \quad (16)$$

Zrno će se odvojiti od površine sita kad je $b_s > g_s$, gdje je g_s određen relacijom (12). Kad je $b_s = g_s$ i kut $\omega t = \varphi_1$, dobiva se

$$\sin \varphi_1 = \frac{g \cos \beta}{a \omega^2} = \frac{1}{K_v}, \quad (17)$$

jer je, kao i za sito koje linearno oscilira, $\sin \varphi_1$ jednako recipročnoj vrijednosti koeficijenta sita. Odatle je, kad se uzme u obzir relacija (7),

$$K_v = \frac{K}{\cos \beta}. \quad (18)$$

Koeficijent sisanja K_v ovisi, dakle, znatno o koeficijentu sita K , pa se već za $K = 2$ u horizontalnim sitima ($\beta = 0$) pojavljuje intenzivno odbacivanje zrna, jer je K_v mjera za to odbacivanje, što umanjuje brzinu kretanja zrnâ po površini sita i time i kapacitet sita.

Kad se promatra kretanje zrna u debeloj posteljici, što odgovara stvarnim prilikama na industrijskim sitima, mora se uzeti u obzir više dodatnih faktora. Zrno u dodiru s prosjevnom površinom dobiva brzinu

$$v_b = a \omega \cos \varphi_1. \quad (19)$$

Ono djeluje na zrno iznad sebe, pa najviše zrno u posteljici s n slojeva zrna dobiva brzinu

$$v_n = v_b \left(\frac{1 + D}{2} \right)^{n-1} \quad (20)$$

gdje je D koeficijent međusobnih sudara zrna. Brzina se, naime, od zrna do zrna smanjuje, jer zrna nisu potpuno elastična, pa je $D < 1$. Uz potpuno elastični sraz, kad je $D = 1$, $v_n = v_b$, a kad je $D = 0$, brzina je posljednjeg zrna

$$v_n = \frac{v_b}{2^{n-1}} \quad (21)$$

što znači da se brzina zrna s povećanjem udaljenosti od prosjevne površine naglo smanjuje. Zbog toga je sisanje intenzivno samo u donjim slojevima koji su u dodiru s prosjevnom površinom. Smanjenjem debljine posteljice prelazi se u stanje tankog sloja i time i ubrzanog sisanja. Zato je mnogo efikasnije raditi s tankim slojem kad su prosjevne površine znatno opterećene.

Na *efikasnost sisanja* utječu parametri materijala za sisanje (oblik zrna, udio zrnâ kritične veličine, vlaga) i parametri sita (amplituda i frekvencija oscilacija prosjevne površine, korisna površina i oblik otvora sita). Oblik zrna iziskuje različite duljine sita za inače jednaki kapacitet. Ako je za okrugla zrna potrebna duljina sita l , za kockasta zrna potrebna je duljina od 1,25, a za izdužena i pločasta zrna duljina od 1,5. Poveća li se udio zrna kritične veličine $d \geq 0,8l$, mora se očekivati smanjivanje specifičnog opterećenja sita za 25% odnosno velik udio pogrešnih zrna u odsjevu. O amplitudi i frekvenciji prosjevne površine ovisi koeficijent sisanja K_v koji određuje način sisanja. Oštro sisanje, $K_v \geq 2,5$, daje bolje rezultate, ali se ne smije primijeniti za neke materijale, npr. koks i umjetna gnojiva, jer se zbog dodatnog sitnjenja na situ stvara prašina i smanjuje udio

tražene klase. Iako je korisna površina najmanja, pri okruglim otvorima sita kvalitet sisanja je najbolji. Zato se prilikom izbora oblika otvora sita mora napraviti kompromis između kvalitete sisanja i kapaciteta. Vlaga materijala znatno utječe kako na izbor načina sisanja u pogledu radnog medija – suho ili mokro – tako i na kapacitet te kvalitete sisanja. Naročito je važna kapilarna vlaga među zrnima. Na dva okrugla zrna s kapilarnom vlagom, prema sl. 9, djeluje u tekućoj fazi kapilarni tlak

$$p = \sigma_{LG} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (22)$$

gdje su R_1 i R_2 glavni polumjeri zakrivljenosti tekuće faze, a σ_{LG} površinski napon između tekuće i plinovite faze. Uslijed konkavnih zakrivljenosti u tekućoj se fazi javlja podtlak, čime se dva zrna kapilarnom silom vezuju jedno za drugo. Prosjevna sila, definirana koeficijentom K_v , konstantna je u toku rada sita, dok se kapilarna sila mijenja u zavisnosti od vlage materijala (sl. 10), te u intervalu između neke minimalne i maksimalne vlage postaje veća od prosjevne sile.

U tom području vlažnosti nije moguće efikasno sisanje pa se materijal mora sušiti ili se mora primijeniti mokro sisanje. Materijal koji se želi sijati može se sušiti na samoj prosjevnoj površini grijanjem (npr. električno grijanje sita) ili miješanjem materijala.

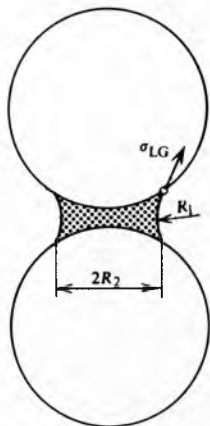
Kvaliteta sisanja najčešće se ocjenjuje prema udjelu pogrešnih zrna u prosjevu, odnosno odsjevu. Ako je C_u udio zrna koja pripadaju prosjevu u ulaznom materijalu, C_o i C_p udio takvih zrna u odsjevu odnosno prosjevu, učinak sisanja u postocima dobiva se iz izraza

$$\eta_s = \frac{(C_u - C_o)(C_p - C_u)}{(1 - C_u)(C_p - C_o)C_u} 100. \quad (23)$$

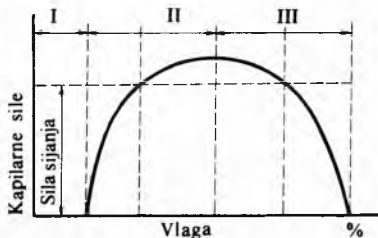
Vrste sita. Sita se mogu sistematizirati prema različitim gledištima. Najgrublja je podjela na nepokretna i pokretna sita. Pokretna sita mogu se dalje svrstati u ona kad se okvir sita pokreće zajedno s prosjevnom površinom i ona kad se pokreće samo prosjevna površina. Druga se podjela zasiva na načinu kretanja materijala po prosjevnoj površini. To je moguće kotrljanjem (rešetke, bubnjasta sita) ili od bacivanjem (oscilacijska sita). Oscilacijska se sita razlikuju prema obliku oscilacijskih putanja i prema broju oscilacija odnosno frekvenciji sita (subkritična, rezonantna i superkritična sita).

Nepokretna sita su fiksne rešetke (sl. 11) i lučna sita (sl. 12).

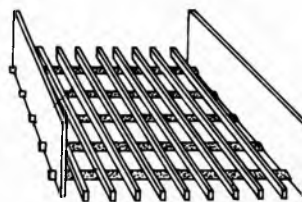
Fiksne rešetke izrađene su od profiliranih šipki koje moraju biti tri puta šire od najvećih dimenzija zrna. Minimalni razmak među šipkama iznosi 25 mm, duljina otvora mora biti 1,5 puta veća od širine, a nagib, radi klizanja materijala po prosjevnoj površini, 35–55°. Rešetke najčešće služe za zaštitu bunkera ili se upotrebljavaju za pretklasiranje prije uređaja za drobljenje (v. *Drobljenje*, TE3, str. 395).



Sl. 9. Kapilarna vlaga između dva okrugla zrna



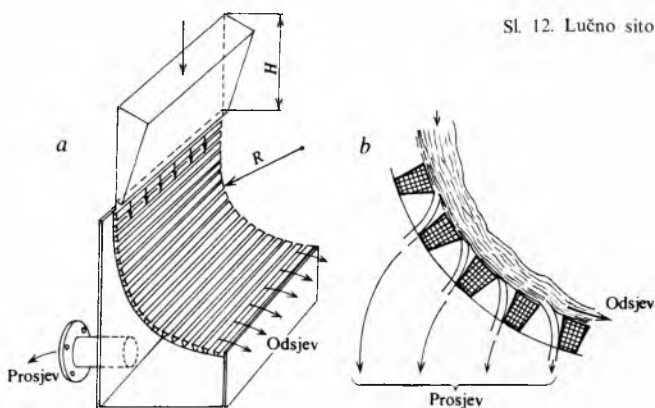
Sl. 10. Odnos sile sisanja i kapilarne sile u funkciji vlage materijala. I unutrašnja vlaga, II kapilarna vlaga, III vlaga među zrnima



Sl. 11. Fiksna rešetka

Lučna sita namijenjena su za mokro sisanje sitnih frakcija ili za odvodnjavanje takvih frakcija. Sastoje se od klinasto profiliranih šipki postavljenih u luku polumjera 500–1500 mm. Na tu zakrivljenu površinu dodaje se odozgo s unutrašnje strane suspenzija koja teče brzinom 1–6 m/s i pri tom se stvara tekući film približne debljine 0,25 l (l je širina otvora među šipkama). U prosjevu se pojavljuju zrna dimenzije $d \leq 0,5l$. To znači da se s razmacima šipki od 0,3–1 mm postiže razdvajanje na 0,1–0,5 mm. Udio čvrste faze u vodi mora iznositi

oko 10% volumena. Kapacitet lučnih sita relativno je veoma velik i iznosi od $30 \cdot 450 \text{ m}^3$ pulpe na sat.

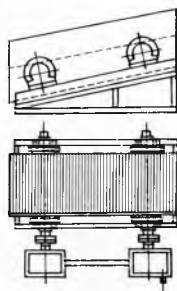


Sl. 12. Lučno sito

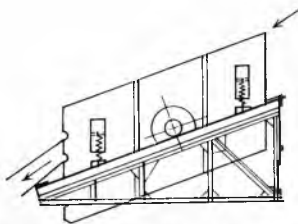
Pokretna sita s kotrljanjem materijala mogu biti bubnjasta sita ili sita horizontalne površine s elementima koji se kreću nezavisno jedan od drugog. Kretanje elemenata ili cijele površine bubnja prenosi se na materijal koji se sije. Horizontalna sita s elementima u obliku pokretnih valjaka upotrebljavaju se kao transportna ili pretklasirna sita za zrna granulacije $40 \cdot 100 \text{ mm}$, naročito za klasiranje ugljena. Bubnjasta sita promjera $0,8 \cdot 1,2 \text{ m}$ upotrebljavaju se u građevnoj industriji te u preradi aluvijalnih rudnih nalazišta (v. *Aluvijalna rudna nalazišta*, TE 1, str. 247). Njihov je kapacitet relativno mali ($0,25 \cdot 0,45 \text{ t/h}$ po m^2), a potrošnja energije dvaput veća nego za ostala sita.

Pokretna sita s odbacivanjem materijala, tzv. oscilacijska sita, najviše se upotrebljavaju. U tu se grupu ubrajaju sita u kojih se okvir sita pokreće zajedno s prosjevnom površinom te sita u kojih je okvir nepokretan a oscilira samo prosjevn površina. Kako je oscilacijska putanja karakteristična značajka tih sita, razlikuju se sita s kružnim, eliptičnim i linearnim putanjama prosjevnih površina. Podjela sita prema frekvenciji njihanja sve se više napušta jer se danas sve više uvode konstrukcije s mnogo njihaja.

Sita s kružnim putanjama prosjevn površine izrađuju se u tri osnovna tipa prema povezivanju okvira s pogonskom osovinom. Tako se razlikuju sita s dvije poluge (sl. 13), sita s ekscentričnom osovinom u težištu okvira (sl. 14) i sita s ekscentričnom masom u težištu okvira (sl. 15). Za bolji transport materijala po prosjevn površini, ona moraju biti nagnuta u smjeru transporta za $10 \cdot 25^\circ$. Sita s dvije poluge (sl. 13) izrađuju se do duljine od 6 m , široka do $2,2 \text{ m}$ i s brzinom vrtnje osovine od $120 \cdot 200 \text{ min}^{-1}$. Imaju velik kapacitet i upotrebljavaju se za grubo klasiranje, naročito ugljena. Sita s ekscentričnom osovinom (sl. 14) imaju na oba njena kraja ploče s ekscentrično smještenom masom, a okvir prosjevn površine povezan je elastično s temeljnim okvirom sita, npr. oprugama.



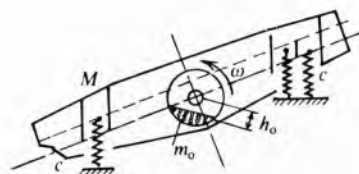
Sl. 13. Sito sa dvije poluge



Sl. 14. Sito s ekscentričnom osovinom

Ekscentrična sita imaju $900 \cdot 2000 \text{ min}^{-1}$ oscilacija, s amplitudama $3 \cdot 10 \text{ mm}$, što osigurava visoke vrijednosti koeficijenta sisanja K_v ($4 \cdot 6$). Ta su sita namijenjena sisanju srednjegrubog i finog materijala, i to za mokro ili suho sisanje. U sitima

sa jednom osovinom i ekscentričnom masom (sl. 15) osovina je vezana samo za okvir sita, a ekscentričnim se masama može mijenjati položaj. Broj je oscilacija do 2500 min^{-1} , s amplitudama do 10 mm , a koeficijent sisanja K_v dostiže vrijednost $4 \cdot 6$. Namijenjena su sisanju materijala granulacije $1 \cdot 50 \text{ mm}$.



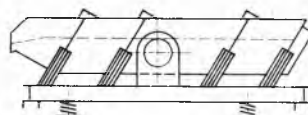
Sl. 15. Sito s ekscentričnom masom u težištu

Kapacitet tih sita računa se uglavnom pomoću empirijskih formula u kojima se, pored specifičnog kapaciteta prosjevn površine i nasipne težine materijala, uzimaju u obzir i spomenuti parametri materijala koji se sije (vlaga, količina kritičnog zrna, količina prosjeva i odsjeva). Za određivanje specifičnog kapaciteta prosjevn površine pogodna je empirijska formula:

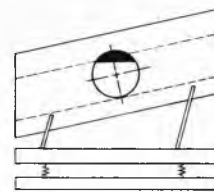
$$q = a \log \frac{l}{b} \left| \text{m}^3/\text{h po m}^2 \right|, \quad (24)$$

gdje su a i b konstante zavisne od otvora sita l (za $l < 3 \text{ mm}$: $a = 4$, $b = 0,08$; za $l = 6 \cdot 40 \text{ mm}$: $a = 24$, $b = 1$; za $l > 40 \text{ mm}$: $a = 51$, $b = 9$).

Sita s eliptičnim putanjama (sl. 16 i 17) mogu imati i horizontalne prosjevn površine, što je prednost zbog potrebne manje konstruktivne visine. Eliptične se putanje mogu postići vezivanjem okvira prosjevn površine s ekscentričnom osovinom i masom za temeljni okvir preko opruga-vodilica. Sita s eliptičnim putanjama upotrebljavaju se za iste svrhe kao i ona s kružnim putanjama, ali su manje u upotrebi.

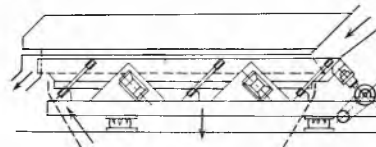


Sl. 16. Sito s eliptičnim putanjama i horizontalnom prosjevnom površinom



Sl. 17. Sito s eliptičnim putanjama i ekscentričnom masom

Sita s linearnim putanjama (sl. 18) danas se najviše upotrebljavaju. Svaki mehanički sustav ima svoju vlastitu frekvenciju pa je za kretanje u ritmu te frekvencije potrebna veoma mala pogonska sila. Konstantnim djelovanjem i slabe pogonske sile progresivno će porasti kinetičke sile, pa će sistem biti oštećen pa i uništen ako se dostigne kritična brzina vrtnje koja odgovara vlastitoj frekvenciji. Zato se do pojave rezonantnih sita to kritično područje izbjegavalo, pa su sita bila ili *podkritična* ili *nadkritična*, tj. radila su s brzinom vrtnje manjom ili većom od one koja odgovara vlastitoj frekvenciji. Rezonantna sita rade baš s kritičnom brzinom vrtnje, ali uz uvjet da se izvedu sa što točnijim izjednačenjem masa u pokretu. Mahom se to postiže elastičnim spojem okvira s pogonskim uređajem pomoću gumenih opruga ili odbojnika. Tokom rada stalno se razmjenjuje kinetička energija okvira s potencijalnom energijom gumenih opruga. Okvir prosjevn površine mora biti izoliran od temeljnog okvira kako se vibracije ne bi pnosile na okolinu.



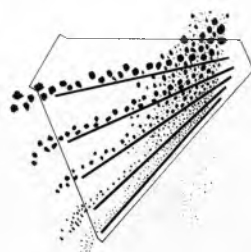
Sl. 18. Rezonantno sito

Rezonantna sita imaju veliki kapacitet (to su najveća sita koja se danas upotrebljavaju), mogu imati više prosjevnih površina (višeetažna sita) a postavljena su horizontalno, pa se time štedi na konstruktivnoj visini. U tabl. 2 karakteristične su vrijednosti rezonantnih sita.

Tablica 2
KARAKTERISTIKE REZONANTNIH SITA

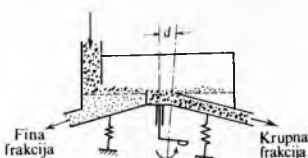
Duljina m	Širina m	Površina m ²	Kapacitet t/h	Snaga kW	Brzina vrtnje min ⁻¹
9,0	1,8	2 × 16,2	100 - 400	6 - 9	380 - 550
6,0	1,5	2 × 9,0	50 - 200	3 - 6	380 - 600
3,5	1,0	2 × 3,5	30 - 100	1 - 3	380 - 650

Specijalna sita konstruiraju se posljednjih godina osobito za klasiranje materijala koji se teško sije, a to su sitni granulati, vlažni materijal i materijal s većim udjelom kritičnih zrna. Naročito su uspjele konstrukcije Mogensen sizer i klatno sito.



Sl. 19. Mogensen sizer, princip rada (gore) i izvedba (lijevo)

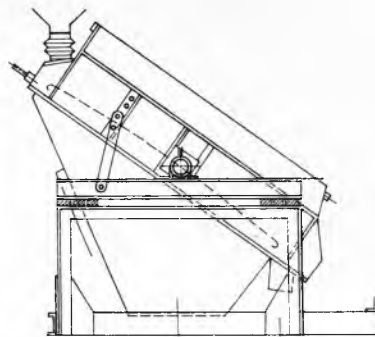
Mogensen sizer, u industrijskoj je upotrebi petnaestak godina, zasniva se na pretpostavci da je vrijeme zadržavanja zrna u posteljici na prosjevnj površini funkcija veličine zrna, što znači da će se veća zrna zadržati duže od sitnih zrna na prosjevnj površini i da će teže prolaziti kroz otvore sita. Kako bi se osigurao dovoljno dug put za svako zrno prema njegovoj veličini, sito ima nekoliko prosjevnih površina postavljenih koso jedna iznad druge (sl. 19) s otvorima koji na svim površinama mogu biti jednaki a mogu se i smanjivati polazeći odozgo prema dolje, ali svakako moraju biti veći od veličine zrna koja se siju. Prednost je Mogensen sizera u velik kapacitet u odnosu na prosjevnj površinu; on ponekad nadmašuje nekoliko puta kapacitet standardnih sita jednakih dimenzija.



Sl. 20. Klatno sito

Klatna sita (sl. 20) karakteristična su po tome što okrugla prosjevnj površina izvodi dvostruko kretanje: kružno u horizon-

talnoj i linearno u vertikalnoj ravnini. Takvim kombiniranim kretanjem postiže se oštro sijanje, osobito sitnih klasa. Materijal se dovodi centralno odozgo, rjeđe periferno kao na sl. 18. Pogon je ili ručicom (npr. tip Allgaier), ili pomoću neizdjenčenih masa (tipovi Sharples, Russell, Sweco i dr.).

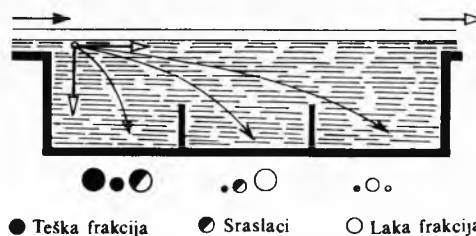


Sl. 21. Sito s nepokretnim okvirom

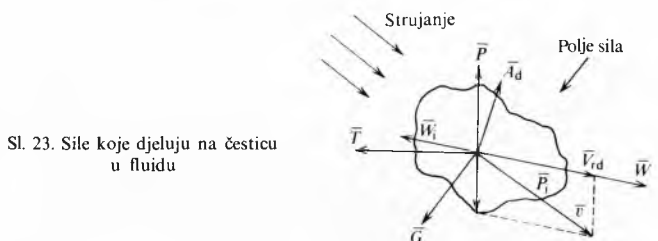
Sita s nepokretnim okvirom. To je nova konstrukcija (sl. 21) koja se posljednjih godina mnogo primjenjuju za suho i mokro sijanje sitnih klasa. U tim sitima, direktno spojenim prosjevnj površine vibriraju s frekvencijom 25...100 Hz i amplitudom od 0,1...3 mm; veličina je otvora sita 0,1...12 mm. Vibracije se postižu elektromagnetskim uređajima. Nepokretnost okvira velika je prednost.

KLASIRANJE U FLUIDIMA

Klasiranje u fluidima bazira se na sutaložnosti, tj. na pojavi da čestice u tekućem ili plinovitom mediju (npr. vodi ili zraku) padaju različitim brzinama, zavisnima od njihova oblika i gustoće, s tim što će nakon određenog vremena postići konstantnu konačnu brzinu, to veću što je veća masa pojedine čestice. Čestice s jednakom konačnom brzinom sutaložne su čestice. Prilikom taloženja u nekom mediju, prema tome, redovito se neće klase odrediti prema veličini, kao pri sijanju, već klase prema sutaložnosti. Klase prema veličini mogle bi se pri taloženju u nekom mediju dobiti samo kad bi sve čestice bile jednake gustoće i oblika, a to praktično nikad nije tako. Na sl. 22 prikazane su, shematski, sutaložne klase kakve se dobivaju pri taloženju u vodenoj struji.



Sl. 22. Sutaložne klase



Sl. 23. Sile koje djeluju na česticu u fluidu

Klasiranje u fluidima služi i za razdvajanje dvofaznih sustava: čvrsto—tekuće (odvodnjavanje, mehaničko čišćenje voda) ili čvrsto—plinovito (otprašivanje plinova ili zraka). Fizikalna je osnova svih tih procesa kretanje čestica u fluidima.

Na kretanje čestica u fluidima djeluje više sila (sl. 23): sila gravitacijskog, odnosno centrifugalnog polja G, tlačna sila

P , sila otpora strujanja W ; sila dinamičkog uzgona A_d , tlačna sila ubrzanja P_i , sila inercije T , sila nestacionarnog strujanja \bar{W} .

Kad su zma okrugla, sile su definirane sljedećim relacijama:

$$\vec{G} = \rho_s g \frac{d^3}{6} \quad (25)$$

$$\vec{P} = -\frac{\pi d^3}{6} \text{grad } p \quad (26)$$

$$\vec{W} = \frac{1}{2} \frac{d^2 v_{rel}^2 \rho_f}{2} c(Re) \quad (27)$$

gdje su ρ_s gustoća čestice, d promjer čestice, g ubrzanje sile teže, $\text{grad } p$ gradijent tlaka (koji je u gravitacijskom polju $\rho_f g$, a u centrifugalnom polju $\rho_f r \omega$, gdje su ρ_f gustoća fluida, r polumjer rotacije, a ω kutno ubrzanje), v_{rel} relativna brzina čestice koja je razlika brzine strujanja fluida v_f i brzine čestice v_s ($v_{rel} = v_f - v_s$), a c koeficijent ovisan o Reynoldsovom broju Re koji je definiran relacijom

$$Re = \frac{v_{rel} d}{\nu_f} \quad (28)$$

u kojoj je ν_f kinetička viskoznost fluida. Kad je $Re < 0,25$, koeficijent c iznosi $24/Re$, u labilnom području ($Re = 0,25 \dots 1000$) $c = 1 - 0,5$, a u turbulentnom području ($Re > 1000$) $c = 0,44$.

Ako čestica nije simetrična, ona zbog strujanja rotira oko svoje osi, pa treba uzeti u obzir i dinamički uzgon

$$\vec{A}_d = \frac{1}{2} \frac{\pi d^2 v_{rel}^2 \rho_f}{4} c_A(Re) \quad (29)$$

gdje je c_A koeficijent ovisan o Reynoldsovom broju. Tada je sila inercije

$$\vec{T} = \rho_s \frac{\pi d^3}{6} \frac{dv_s}{dt}, \quad (30)$$

tlačna sila ubrzanja

$$\vec{P}_i = \rho_f \frac{\pi d^3}{6} \frac{dv_{rel}}{dt} \quad (31)$$

a dodatna sila

$$\vec{W}_i = k \rho_f \frac{\pi d^3}{6} \frac{dv_{rel}}{dt} \quad (32)$$

gdje je koeficijent $k = 0,5$. Kad je fluid u plinovitom stanju, može se dodatna sila zanemariti.

Treba razlikovati stacionarno kretanje (npr. u sedimentacijskim bazenima i u komorama za otprašivanje) od ubrzanog kretanja (npr. u suhim i mokrim ciklonima). Ako je kretanje stacionarno, neke od navedenih sila mogu se zanemariti, pa je tada opća jednadžba kretanja čestica u fluidu

$$\vec{G} + \vec{A} + \vec{W} = 0. \quad (33)$$

Ako te sile djeluju u istom smjeru, dobiva se

$$v_{rel}^2 = \frac{4}{3} \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \frac{dg}{c(Re)}, \quad (34)$$

Kad je $Re < 0,25$, vrijedi Stokesov zakon za brzinu sutaloženja

$$v_{St} = \frac{d^2 g (\rho_s - \rho_f)}{18 \eta} \quad (35)$$

gdje je v_{St} brzina sutaloženja, a η dinamička viskoznost fluida. U takvim uvjetima najčešće se odvijaju procesi klasiranja, a koeficijent $c(Re)$ ima konstantnu vrijednost. Jednadžba (35) osnova je za dimenzioniranje velikih klasirnih uređaja i služi za određivanje veličine čestica kad je $d < 0,05$ mm pomoću mjernih aparata (npr. Andreassenova pipeta, Sartoriusova vaga, pneumatski separatori).

U procesima klasiranja, međutim, ne radi se o pojedinačnim česticama nego o oblaku čestica koje djeluju jedna na drugu.

Ako je razmak među česticama manji od $6d$ (koncentracija manja od 0,25%), međusobno se djelovanje čestica može zanemariti. Ako je koncentracija 0,1–10%, zapaža se povećanje brzine sedimentacije koja može biti i 3 puta veća od brzine prema Stokesovom zakonu (35), pa se pojavljuje gomilanje čestica (cluster effect). Kad je koncentracija oko 10%, brzina taloženja iznosi

$$v_i = k_1 k_2 v_{St} \quad (36)$$

gdje su k_1 faktor suprotnog strujanja, a k_2 faktor turbulencije. Za omjer između v_i i v_{St} vrijedi približna relacija

$$\frac{v_i}{v_{St}} = (1 - c_k)^m \quad (37)$$

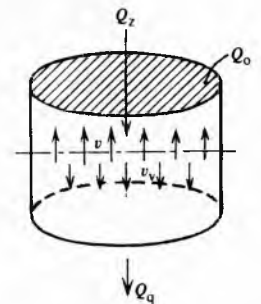
u kojoj je c_k koncentracija čvrste faze, a m koeficijent koji ima vrijednost 2,2–4,65.

Klasifikatori s vodenom strujom razlikuju se prema smjeru brzine strujanja: horizontalni i vertikalni klasifikatori. Čvrsta faza (prerađivane čestice) može se izdvajati hidraulički ili mehanički. Prema silama koje se iskorištavaju, klasifikatori su gravitacijski (Allenov konus, sand-sort, hidroseparator, Rheax-klasifikator, mehanički klasifikatori tipa Dorr i Akins) i centrifugalni (hidrociklon). U mehaničkim klasifikatorima i hidrociklonima pojavljuje se intenzivno turbulentno strujanje, dok većina ostalih klasifikatora radi s laminarnim strujanjem.

Na sl. 24 shema je laminarnog klasifikatora ili sedimentacijskog bazena koji djeluje kontinuirano. U njemu je prosječna brzina protoka v_v jednaka specifičnom opterećenju q prostora za klasiranje prema relaciji

$$v_v = \frac{Q_0}{F} = q = v_{St} \quad (38)$$

u kojoj je na jednoj strani tehnički parametar klasifikatora (površina sedimentacije F), a na drugoj tehnološki parametar suspenzije (brzina sedimentacije v_{St}). Ona može poslužiti za određivanje potrebnog kapaciteta i separacijske veličine čestica d_T .



Sl. 24. Shema kontinuiranog laminarnog klasifikatora

Kapacitet je protjecanja klasifikatora:

$$Q_0 = F q = F v_{St}, \quad (39)$$

pa se za pravokutni klasifikator sa širinom B i duljinom L dobiva:

$$Q_0 \approx BL \frac{d^2 g (\rho_s - \rho_f)}{18 \eta} \quad (40)$$

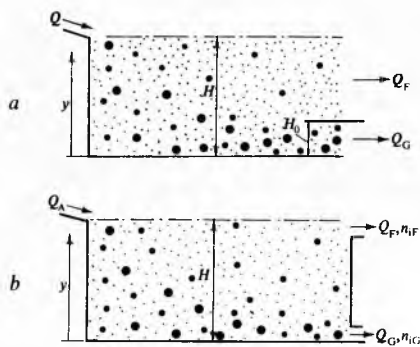
a za okrugli s promjerom D :

$$Q_0 = \frac{D^2 \pi d^2 g (\rho_s - \rho_f)}{72 \eta} \quad (41)$$

Granična separacijska veličina d_T proračunava se iz jednadžbi (35) i (38), pa je

$$d_T = \sqrt{\frac{18 \eta q}{g (\rho_s - \rho_f)}} \quad (42)$$

Mehanički klasifikatori i hidrocikloni, a to su danas najviše primjenjivani klasirni uređaji, rade s turbulentnim strujanjem. Proces klasiranja može se tada prikazati pomoću dva modela: modelom razdiobe pulpe (za proces u mehaničkim klasifi-



Sl. 25. Modeli procesa klasiranja pri turbulentnom strujanju. a model raspodjele, b model istakanja

katorima) i modelom istjecanja pulpe (za proces u hidrociklonima). Prema prvom modelu (sl. 25a) suspenzija je raspodijeljena horizontalnim rezom po visini, tako da za klasifikacijski indeks T_i (udio tražene klase u produktu) vrijedi:

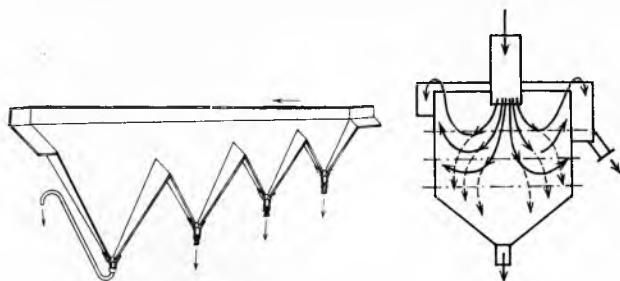
$$T_i = \frac{H_0 n_{iG}}{H n_{iA}} \quad (41)$$

gdje je H ukupna visina vode, H_0 visina do horizontalnog reza, n_{iA} koncentracija čvrste faze u dotoku, a n_{iG} koncentracija čvrste faze u vodi koja otječe u dijelu ispod horizontalnog reza. U drugom modelu (sl. 25b) uz površinu istječe fina, a uz dno gruba frakcija, pa se klasifikacijski indeks određuje iz izraza

$$T_i = \frac{n_{iG} Q_G}{n_{iA} Q_A + n_{iF} Q_F} \quad (42)$$

gdje je Q_A dotok, Q_G i Q_F količina vode koja otječe uz površinu, odnosno dno, dok su n_i koncentracije čvrste tvari u dotoku i vodi koja otječe.

Klasifikatori s horizontalnim strujanjem. U njima prevladava laminarno strujanje. Čestice sedimentiraju različitim brzinama, prema sutaložnosti, pa će samo one s malom brzinom taloženja biti zahvaćene horizontalnom strujom koja će ih, kao najfiniji prosjev, iznijeti u preljev uređaja. Na sl. 26 shematski je prikazan jedan od najstarijih i najjednostavnijih horizontalnih klasifikatora, tzv. šiljasti sanduk koji se sastoji od nekoliko piramidalno oblikovanih komora. U starijih tipova komore su sve veće u smjeru strujanja pulpe dok neki novi imaju jednake komore (npr. tip sand-sort). U svakoj od komora istaložit će se različite sutaložne klase (sl. 22), tako da se dobiva nekoliko proizvoda različite granulacije. Na sl. 27 shema je horizontalnog konusnog klasifikatora. Tu se pulpa dodaje centralno odozgo,

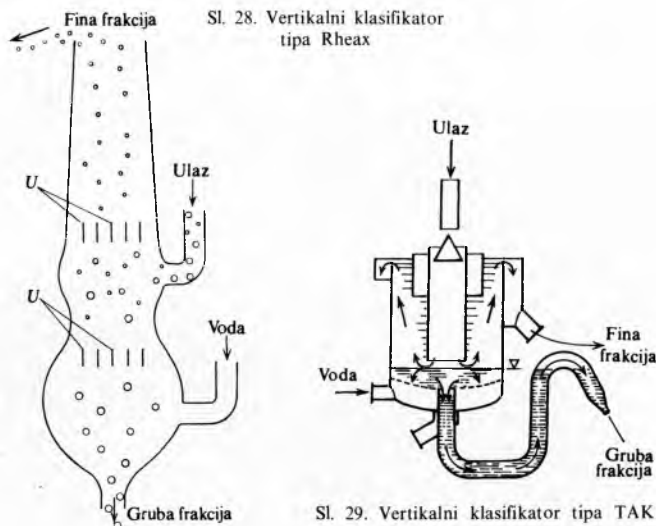


Sl. 26. Šiljasti sanduk

Sl. 27. Konusni horizontalni klasifikator

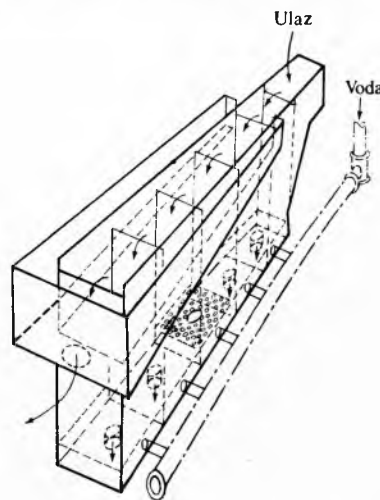
pa se radialno prelije preko ruba uređaja. Gruba frakcija izdvaja se kontinuirano pri dnu. Da bi se to osiguralo, konstruirani su različiti uređaji, tako je npr. u tipu Allen, jednom od najviše upotrebljivanih konusnih klasifikatora, ispust izveden kao automatizirani kuglični ventil. Horizontalni su klasifikatori namijenjeni klasiranju materijala maksimalne veličine od 3 mm, separacijska je veličina zrna $d_T = 0,25 \dots 0,1$ mm, a potrebna je količina vode do 5 m^3 po toni prerađenog materijala.

Vertikalni (uzgonski, protustrujni) klasifikatori karakteristični su po tome što im se tzv. hidraulična voda dodaje odozdo. Tom se vodom u radnom prostoru postiže uzgonska struja. Intenzivnost se strujanja može mijenjati tako da se mogu istaložiti samo čestice s konačnom brzinom većom od brzine uzgonske struje. Time se, u usporedbi s horizontalnim klasifikatorima, postiže znatno bolja separacijska oštrina. Ima ih različitih konstrukcija. Prema primijenjenom principu najjednostavniji je sistem Rheax (sl. 28). Radni prostor u obliku cijevi postepeno se sužava odozdo prema gore, pa se tako strujanje ubrzava i time se postiže odnošenje čestica koje bi se inače mogle zaustaviti i omesti proces. I ugrađeni prigušivači (sl. 28) služe za osiguranje laminarnog toka. Rheax-klasifikatori najviše se upotrebljavaju za dobivanje pijeska za betoniranje veličine od $0,4 \dots 2,5$ mm kad na ulazu postoje čestice do 10 mm. Utrošak vode iznosi $5 \dots 7 \text{ m}^3/\text{t}$.



Sl. 28. Vertikalni klasifikator tipa Rheax

Sl. 29. Vertikalni klasifikator tipa TAK

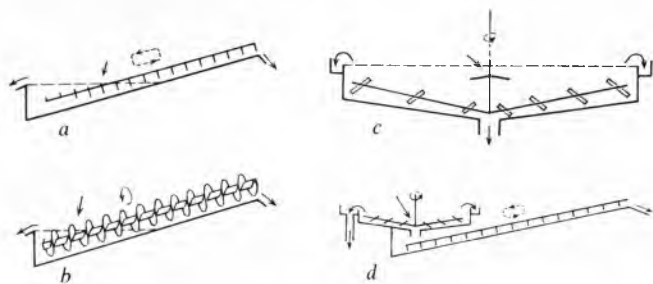


Sl. 30. Komorni vertikalni klasifikator Dorr tipa Fahrenwald

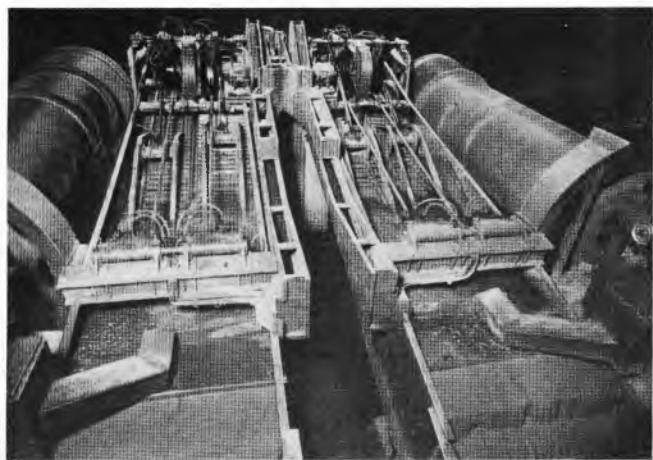
U vertikalni klasifikator sistema TAK (sl. 29) pulpa se dodaje centralno odozgo, a strujanja su prikazana na slici. Komorni vertikalni klasifikator (sl. 30) razlikuje se od drugih ne samo konstruktivno nego i po tome što ima više radnih prostora (komora) pa se može dobiti i više frakcija. U tom je pogledu sličan nekim horizontalnim klasifikatorima (sl. 26), ali mu je oštrina separacije mnogo veća.

Mehanički klasifikatori najviše se upotrebljavaju kao dio postrojenja za mljevenje mineralnih sirovina, kad mlinovi rade u tzv. zatvorenom krugu. Klasifikatori tada od samljevenog

materijala propuštaju samo dovoljno samljevane frakcije i vraćaju u mlin one koje su nedovoljno usitnjene. Prema transportnom mehanizmu za grube (nedovoljno samljevane) frakcije (pijesak), razlikuje se više tipova mehaničkih klasifikatora (sl. 31) od kojih se danas još najviše upotrebljavaju klasifikatori s grabuljama, sa spiralom, sa spiralom, sa spiralom i hidroseparatori.



Sl. 31. Tipovi mehaničkih klasifikatora: a klasifikator s grabuljama, b klasifikator sa spiralom, c hidroseparator, d klasifikator sa zdjelom



Sl. 32. Klasifikator s grabuljama



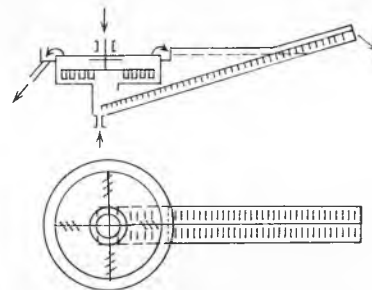
Sl. 33. Klasifikator sa spiralom

Klasifikatori s grabuljama (sl. 32) blago su nagnuta korita (za $10\text{--}15^\circ$), široka $0,5\text{--}5,0\text{ m}$ i duga $3,5\text{--}12,0\text{ m}$. Grabulje se pokreću sa $10\text{--}30$ pokreta u minuti, pa one preko gornjeg kraja izvlače pijesak iz korita. U većini tipova ima i više, paralelno postavljenih, grabulja. Kapacitet zavisi od tražene separacijske veličine d_r , koja iznosi $75\text{--}600\ \mu\text{m}$, a računa se po 1 m širine preljeva, tako da iznosi $2,5\text{--}55\text{ t/h}$ po m.

Klasifikator sa spiralom (sl. 33) pijesak izvlači vijkom kome je prilagođeno i udubljeno korito. Nagib iznosi $14\text{--}18^\circ$, širina $0,75\text{--}6,5\text{ m}$, duljina $3\text{--}12,5\text{ m}$; brzina je transportnog vijka $15\text{--}40\text{ min}^{-1}$. Može se postaviti i više spirala.

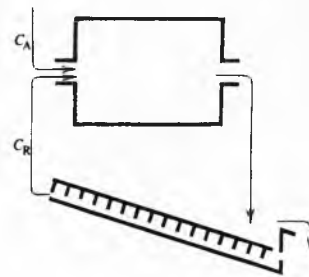
Hidroseparator (sl. 31c) umanjen je zgušnjivač, tj. uređaj koji se u procesnoj tehnici upotrebljava za odvodnjavanje. Sastoji se od okrugle posude promjera $2\text{--}10\text{ m}$ s blagokonusnim dnom i s ispustom na sredini. Kroz taj ispust izlazi istaložena gruba frakcija transportirana pomoću grabulja pričvršćenih za ručice koje se polako okreću. Fina frakcija preljeva se preko oboda. Za razliku od ostalih mehaničkih klasifikatora, hidroseparator se ne upotrebljava u zatvorenom krugu mljevenja već za odmuljivanje.

Klasifikator sa zdjelom (sl. 34) u stvari je kombinacija klasifikatora s grabuljama i hidroseparatora. Primjenjuje se kada se traži relativno oštra separacija na manje od $150\ \mu\text{m}$.



Sl. 34. Klasifikator sa zdjelom

Zatvoreni krug gotovo je univerzalno prihvaćeni postupak u mljevenju mineralnih sirovina, prvenstveno što se tako ostvaruje kontrola u pogledu tražene separacijske oštine. Ima mnogo varijanta zatvorenog kruga, ali se najčešće primjenjuje varijanta potpuno zatvorenog kruga (sl. 35). U klasifikatoru se samljevani materijal dijeli na pijesak (grubu frakciju) i preljev (finu frakciju), pa se preljev kao finalni produkt zatvorenog kruga šalje na dalju obradu (najčešće na flotiranje, v. *Flotacija*, TE 5, str. 460) a pijesak se skupa s novim materijalom vraća na ponovno mljevenje u mlin. Povratni se materijal zove kružna šarža.



Sl. 35. Shema zatvorenog kruga mljevenja

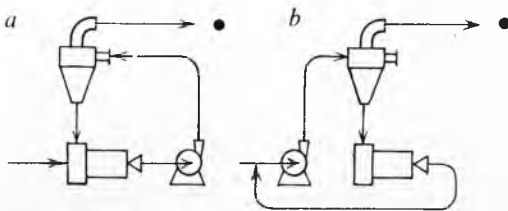
Gotovo uvijek ima više novog ulaznog materijala (svježeg materijala) a može se izraziti u postocima ulaznog materijala. Označi li se povratni materijal s R , svježi materijal sa A i ukupni ulaz u mlin sa V , onda je $V = A + R$, pa kružna šarža iznosi

$$C = \frac{R}{A} \cdot 100\% \quad (43)$$

U praksi se pokazalo da kružna šarža ne bi smjela prijeći vrijednost od $C = 200\%$, iako je često i mnogo veća, te dostiže

i do 800%. Uz optimalnu vrijednost smanjuje se specifična potrošnja energije za mljevenje, izbjegava se opasnost od pretjeranog sitnjenja (*mrtvog mljevenja*) i povećava se separacijska oštrina klasifikatora.

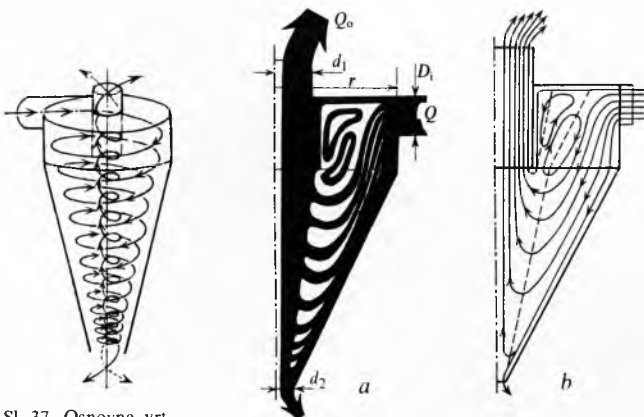
Hidrocikloni. U novije vrijeme, mjesto mehaničkih klasifikatora, u zatvorenom krugu mljevenja sve više se upotrebljavaju centrifugalni klasifikatori, tj. hidrocikloni (sl. 36). To su cikloni u kojima je radni medij voda, a ne zrak. Zakoni djelovanja aerociklona i hidrociklona praktično su toliko slični da teorija rada zračnih ciklona (v. *Čišćenje plinova*, TE 3, str. 116) vrijedi i za hidrociklone. Zato će se ukazati samo na neke pojedinosti važne za primjenu hidrociklona kao klasifikatora. Treba istaknuti i okolnost da se za razliku od aerociklona, koji se u mnogim industrijskim granama upotrebljava već desetljećima, hidrocikloni primjenjuju tek od četrdesetih godina ovog stoljeća, i to nakon veoma uspješnih radova u laboratoriju Nizozemskih državnih rudnika ugljena (1939–1948) kada je utvrđena svestrana upotrebljivost ciklona za koncentraciju u suspenzijama (v. *Gravitacijska koncentracija*, TE 6, str. 271). Danas se hidrocikloni upotrebljavaju kao klasifikatori, separatori i zgušnjivači.



Sl. 36. Zatvoreni krug s hidrociklonom: a normalni, b obrnuti

Tangencijalnim uvođenjem suspenzije pod tlakom u gornji cilindrični dio hidrociklona postiže se naniže usmjereno centrifugalno rotacijsko strujanje (vanjski vrtlog). Zbog konusnog oblika donjeg dijela vrtlog se koči pa raste tlak neposredno iznad donjeg ispusta, tako da se tu otkidaju strujni slojevi i usmjeravaju u suprotnom smjeru, centralno naviše, prema području nižeg tlaka (unutrašnji vrtlog). Na sl. 37 shematski su prikazana ta dva osnovna vrtložna strujanja. Grublje će čestice, zbog svoje veće mase, centrifugalna sila relativno brzo potisnuti prema stijenci ciklona, niz koju će putovati naniže i konačno biti izbačene kroz donji ispust, dok će finije čestice ostati u centralnom dijelu i tu biti zahvaćene unutrašnjim vrtlogom koji će ih iznijeti kroz gornji ispust. Na sl. 38 prikazana su opisana strujanja u ravnini položenoj kroz ciklonsku os. Važno je za ispravan rad hidrociklona da suspenzija protječe kroz gornji ispust bez zastoja, što se postiže ako je ispunjen slijedeći uvjet (Tarjan, 1961):

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1}{1 + 1,1 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3}, \quad (44)$$



Sl. 37. Osnovna vrtložna strujanja u hidrociklonu (shematski)

Sl. 38. Strujni tokovi u hidrociklonu: a količinska shema, b pravci strujanja

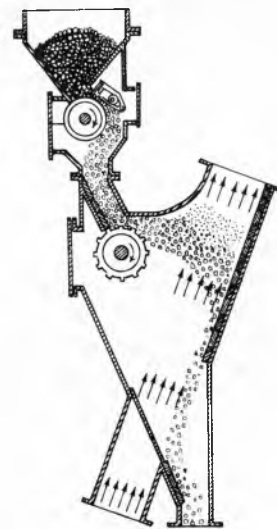
gdje je Q količina ulazne suspenzije, Q_0 količina suspenzije što izlazi kroz gornji ispust, d_2 promjer donjeg, a d_1 promjer gornjeg ispusta.

Tablica 3
KARAKTERISTIKE INDUSTRIJSKIH HIDROCIKLONA

Promjer D mm	Ukupna visina H mm	Granična separacijska veličina d_T μ m	Kapacitet m ³ /h
10	290	4-6	0,2
20	330	6-8	0,4-0,6
40	500-580	8-12	1-2,4
50	540-600	8-15	2,8-5,5
100	1180	12-25	8,5-17
200	1300-1700	25-60	20-45
300	1400-2000	30-90	50-120
500	1800-2500	50-120	110-230
750	2000-2500	60-150	270-520
1200	2200-2600	80-200	680-1020

Hidrocikloni se obično izrađuju od čeličnog lijeva s gumiranom unutrašnjom površinom, ali i od umjetnih masa kao što su vulkolan ili linateks. Čestice koje se u njima mogu prerađivati mogu imati dimenzije od 3–250 μ m. Pregled najvažnijih parametara industrijskih hidrociklona nalazi se u tabl. 3.

Klasifikatori sa zračnom strujom ili pneumatski klasifikatori služe za suho klasiranje sitnih zrna približnog granulacijskog raspona od 5 do 500–700 μ m. U principijelnom pogledu nema razlike između pneumatskih klasifikatora i klasifikatora s tekućim medijem. I jedni i drugi rade prema sutaložnosti, ali kako je zrak znatno manje viskozno nego voda (50–100 puta), brzina je taloženja u pneumatskim klasifikatorima ~100 puta veća nego u klasifikatorima s vodenom strujom.

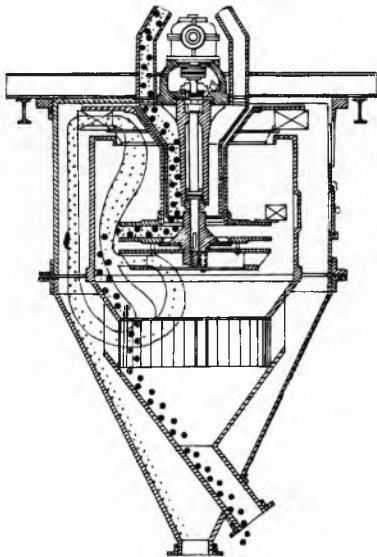


Sl. 39. Vertikalni pneumatski klasifikator

Pneumatski se klasifikatori mogu svrstati prema različitim kriterijima: prema sili koja djeluje, prema smjeru strujanja zraka, prema načinu dovođenja materijala i dr. Uobičajeno je da se razlikuju gravitacijski i centrifugalni klasifikatori. Gravitacijski mogu biti, prema smjeru strujanja, horizontalni, vertikalni (ili uzgonski), protustrujni i cikak separatori. U horizontalni tip spada i prašna komora (v. *Čišćenje plinova*, sl. 3, TE 3, str. 118), a vertikalni je prikazan na sl. 39. Služi prvenstveno za otprašivanje sitnog ugljena do 10 mm pri granulacijskom rezu od 0,3–0,75 mm. U zavisnosti od veličine klasifikatora (širina 1000–2750 mm), može se postići kapacitet 25–75 t/h.

Centrifugalni su klasifikatori najviše upotrebljavani pneumatski klasifikatori. Postoje različite konstrukcije (aksijalni, spiralni, konusni klasifikatori). Tipičan centrifugalni pneumatski klasifi-

kator prikazan je na sl. 40. Za sve je te moderne tipove karakteristično da imaju dva ventilatora te unutrašnje i vanjsko kućište. Materijal se dodaje centralno odozgo na rotacijski distribucijski tanjur preko kojeg se ubacuje u klasifikacijsku struju koja dolazi odozdo. Fine čestice izdvojene gornjim ventilatorom bacaju se centrifugalnom silom na zidove vanjskog cilindra, klize po njemu naniže i izlaze kroz ispušt. Grube čestice prolaze kroz prostor s rebrima i tu se još jednom prečiste zrakom što dolazi iz vanjskog konusa i koji odnosi preostale fine čestice. Oštrina klasifikacijskog reza može se u određenim granicama regulirati brzinom vrtnje ventilatorâ i mijenjanjem položaja rebara.



Sl. 40. Centrifugalni pneumatski klasifikator

Centrifugalni pneumatski klasifikatori grade se s promjerom cilindra 1500–5000 mm, s kapacitetom 5–150 t/h. Primjenjuju se u industriji cementa, u termoelektranama loženima ugljenom, i u drugim industrijskim granama.

LIT.: H. Brauer, Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen. Verlag Sauerländer, Aarau-Frankfurt/M 1971. — J. Wessel, Sieben, u djelu: Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, Band 2, Weinheim 1972. — F. Kaiser, Windsichter. Ibid. — H. Trawinski, Aufstromklassierer. Ibid. — H. Schubert, Aufbereitung fester mineralogischer Rohstoffe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975. — T. Allen, Particle size measurement. Chapman and Hall, London 1975. — D. Ocepek, Mehanska procesna tehnika. DDU Univerzum, Ljubljana 1976. — D. B. Purchas, Solid/liquid separation equipment scale-up. Uplands Press Ltd, Croydon 1977.

D. Ocepek

KLIMATOLOGIJA, znanost o klimi. Pod klimom se podrazumijeva skup stanja atmosfere iznad geografskog područja u određenom vremenskom razdoblju, odnosno, općenito uzevši, klima predstavlja generalizaciju ili integraciju vremenskih stanja za promatrano razdoblje unutar promatranog područja. Klimatologija proučava klimu, njene tipove, uvjetovanost i raspodijeljenost na Zemlji, te njene promjene tokom vremena. Klimatologija spada u prirodne znanosti; u užem smislu ubraja se u meteorologiju (v. *Meteorologija*), koja je dio geofizike, znanosti o Zemlji.

Prema užem području koje obrađuje i prema metodama kojima se služi klimatologija je razvrstana na nekoliko grana. *Fizička klimatologija* u prvom redu bavi se nastankom i fizičkom uvjetovanošću klime, te prosječnim stanjima atmosfere. *Teorijska klimatologija* ili *klimatonomija* precizno objašnjava klimatske pojave, od osnovnih koncepcija lokalne toplinske ravnoteže do teorijskih modela opće cirkulacije atmosfere.

Dinamička klimatologija razmatra rasprostranjenost pojedinih tipova klima na Zemlji i njihovu uvjetovanost procesima opće cirkulacije atmosfere, zračnim masama i frontama. *Aeroklimatologija* proučava klimu slobodne atmosfere, tj. atmosfere iznad graničnog sloja (v. *Meteorologija*). *Mikroklimatologija* se bavi atmosferskim slojem do 2 m nad tlom (prema Munnu slojem do 50–100 m), a *mezoklimatologija* fenomenima na područjima koja se horizontalno protežu 15–150 km. *Topoklimatologija* proučava klimu specifičnih mjesta, više s geografskog gledišta. Ostale su grane klimatologije: *bioklimatologija*, koja razmatra odnose klime i čovjeka; *poljoprivredna* ili *agrikulturna klimatologija*, koja proučava odnose klime i biljaka; *paleoklimatologija*, koja proučava klimatske prilike davnih geoloških razdoblja. Rezultati klimatoloških istraživanja služe u prvom redu u primijenjenoj meteorologiji. Opisni dio klimatologije, *klimatografija*, obuhvaća grafičke prikaze o pojedinim tipovima klime na Zemljinoj kugli.

Osnovne pojmove o klimi poznavali su već u staroj Grčkoj vjerujući da klima ovisi jedino o kutu pod kojim Sunčeve zrake padaju na površinu Zemlje. Tako i riječ klima dolazi od grčke riječi *κλίμα* klima *naqib*. Sve do XVII stoljeća, kad su izumljeni osnovni meteorološki instrumenti, tumačenja vremenskih i klimatskih pojava zasnivalo se na praznovjerju i iskustvenim pravilima. U XVIII stoljeću objavljena je prva klimatska karta vjetrova na oceanima (E. Halley, 1656–1724) i prvi opisi klime na osnovi instrumentalnih mjerenja, ali osnivačem klimatologije kao znanosti smatra se tek A. Humboldt (1769–1859). On je postavio načela sustavnih opisa i objašnjenja klime na Zemlji i izradio prve klimatske karte. Razvojem mreže stanica i opservatorija povećao se broj podataka o klimatskim opažanjima. U obradi tih podataka dali su izuzetno vrijedne priloge A. I. Voicikov (1842–1916) zakonom o ovisnosti amplitude temperature o reljefu tla, W. Köppen (1846–1940), koji je razradio prvu i do danas najšire prihvaćenu klasifikaciju klime, dok su J. von Hann (1839–1921) i njegova bečka škola postavili osnove klasične klimatologije, kojoj je težište u određivanju aritmetičkih srednjaka dugih nizova meteoroloških elemenata.

U XX stoljeću uspostavljena je globalna mreža stanica, koja je obuhvatila i oceane i trope, Arktik i Antarktik, pa je bilo moguće izraditi klimatske atlase kontinenta, oceana i pojedinih država. Klimatologija se služi sve više statističkim metodama, a njeni rezultati nalaze široku primjenu u različitim područjima ljudske aktivnosti. Mjerenja viših slojeva atmosfere omogućuju dobivanje trodimenzijske slike o stanju meteoroloških elemenata i podloge za aeroklimatološke atlase i monografije.

Dvadesetih godina ovog stoljeća uvodi E. E. Fedorov kompleksnu klimatologiju, koja promatra sve meteorološke elemente umjesto pojedinih elemenata, te utjecaj klime na živi svijet. Budući da se pod klimom razumiju i višegodišnje klimatske prilike, to ona djeluje na čovjeka učestalošću različitih vremenskih tipova ili grupe tipova, a ne njihovim srednjim vrijednostima. Osnove *dinamičke klimatologije* postavio je tridesetih godina ovog stoljeća T. Bergeron, dok je dalji razvoj doveo do proučavanja utjecaja opće cirkulacije atmosfere na klimatske prilike (V. Bugaev, H. Pogosjan, S. Hromov i dr.), toplinske ravnoteže Zemljine površine i atmosfere (M. Budjko, G. Lonsberg i dr.), a sve veća urbanizacija i do proučavanja utjecaja čovjeka na klimatske prilike na Zemlji. Teorijske osnove tzv. *matematičke klimatologije* dao je naš znanstvenik M. Milanković (1879–1958).

Posljednjih desetak godina nagli razvoj elektroničkih računala omogućio je obradu mnoštva klimatoloških podataka suvremenim metodama statistike, a razvijeno je i više matematičkih modela klimatogenih procesa (N. Kočin, N. Phillips, G. Smagorinsky, E. Lorenz i dr.). Dalje usavršavanje tih modela trebalo bi dati sliku prostorne razdiobe klimatskih elemenata i razjasniti ne samo kompleksne utjecaje na klimu u prošlosti već i moguće promjene u budućnosti.

Klima i klimatski elementi. Klima nekog područja ili mjesta određuje se na temelju niza mjerenja meteoroloških elemenata (v. *Meteorologija*) iz duljeg vremenskog razdoblja. Među meteorološke elemente spadaju: temperatura, vlaga, tlak zraka, vjetar, insolacija, naoblaka, oborine, vidljivost, isparivanje, snježni pokrov, stanje tla, te karakteristike zračenja Sunca (ukupno zračenje, radijacijska bilanca, toplinska razmjena između tla i atmosfere).

Razdoblje od 30 ili više godina smatra se u našim geografskim širinama *klimatološkom normalom*. Budući da se i klima postepeno mijenja, razdoblje od 1931. do 1960. godine vrijedi u najnovije vrijeme kao *normalni period*. U nedostatku podataka, za određivanje osnovnih karakteristika klime, uzima se i kraće razdoblje (barem 10 godina).

Karakteristike klime su statistički pokazatelji iz višegodišnjih nizova meteoroloških elemenata (godišnje, sezonske, mjesečne, dnevne vrijednosti). Njihove srednje vrijednosti, sume i učestalosti nazivaju se *klimatološkim normama*, dok se odgovarajuće vrijednosti elemenata za pojedine dane, mjesece, sezone ili godine zovu *odstupanjima* od tih normi. Ovo vrijedi i za kompleksne pokazatelje klime, koji su definirani kao funkcije od nekoliko meteoroloških elemenata.