

Na zvijezdi sa 59 zubi nasaden je prsten s dva puta ucrtanim Mjesečevim mijenama koje se pojavljuju u prozorčiću na brojčaniku. Svaka od mijena pojavljuje se nakon 29 dana i 12 sati. Zbog toga što Mjesec obide Zemlju za 29 dana, 12 sati, 44 minute i 2,8 sekunda nastaje mala pogreška koja se popravlja korektorom, kao i datum na početku onog mjeseca koji slijedi iz mjeseca koji nema 31 dan.

**Automatsko navijanje ručnih satova** osigurava se posebnim mehanizmom koji omogućuje navijanje opruge normalnim pokretima ruke. Pri tome je opruga uvijek bolje navijena nego uz redovno navijanje svaka 24 sata, pa je pogonska sila manje promjenljiva (sl. 61).

Rotor (sl. 62) uređaja za automatsko navijanje zakreće se pomakom ruke, pa preko svoje vretenke okreće zupčanic prekrataljke koja gibanje prenosi preko redukcijjskih zupčanika na oprugu, koja se zbog toga navija. Zaporni kotač ne dopušta povratno okretanje opruge. Odspojnik automatskog navijanja omogućuje ručno navijanje, a da se ne pomiču dijelovi mehanizma za automatsko navijanje. Odspojnik ručnog navijanja omogućuje bolje djelovanje uređaja za automatsko navijanje. Da bi se spriječilo prekomjerno naprezanje i eventualni lom pogonske opruge, ona je spojena s bušnjem preko klizne veze.

LIT.: L. C. Balvay, Évolution de l'horlogerie. Gauthier-Villars, Paris 1968. – E. Bassermann, Jordan, Uhren. Klinghardt & Biermann, Braunschweig 1969. – S. Guye, H. Michel, Mesures du temps et de l'espace. Bibliothèque des Arts, Paris 1970. – R. Mühe, H. M. Vogel, Alte Uhren. Verlag Georg D. W. Callwey, München 1976. – Heureka, Kako su i kada nastali najvažniji izumi. Mladost, Zagreb 1978. – J. Ivanković, Urarski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb 1979.

#### Z. Vistrička

**SEDIMENTACIJA**, razdvajanje rjeđe kapljevite suspenzije neke čvrste tvari (mulja ili rijetkog mulja) na kapljevinu i gušću smjesu (gusti mulj ili sediment) s većim udjelom čvrste tvari zbog razlike gustoća u polju neke sile. Obično se takvo razdvajanje provodi u gravitacijskom polju.

Korisni proizvodi sedimentacije mogu biti izbistrena kapljevina, sediment ili oboje. Kad je proizvod kapljevina, govori se o *bistrenju* (klarifikaciji), a kad je sediment, o ugušćivanju.

Sedimentacija je zapravo razdvajanje faza taloženjem, što se odvija u skladu sa zakonima mehanike fluida, i to praktički bez utjecaja faznih prijelaza (isparivanja, kondenzacije). S toga stajališta sedimentacija je srodna filtraciji (v. *Filtracija*, TE 5, str. 398), gravitacijskoj koncentraciji (v. *Gravitacijska koncentracija*, TE 6, str. 265) i pogotovu centrifugiranju (v. *Centrifugiranje*, TE 2, str. 591).

Sedimentacija je vjerojatno bila poznata već u pretpovijesno doba, jer se već tada bistrila voda za piće. U antičko doba sedimentacijom su se ispirali minerali iz ruda u različitim metalurškim procesima. Neke je preteče današnjih aparatura opisao G. Bauer (Agricola) u djelu *De re metallica* (1556). Krajem XIX. st. upotrebljavali su se šaržni sedimentacijski postupci separacije u rezervoarima i stožastim posudama. Kontinuirani postupci sedimentacije pojavili su se početkom XX. st.

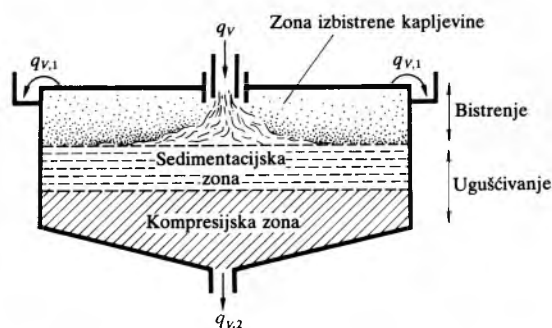
**Primjena sedimentacije.** Talozanje djelovanjem gravitacije jeftinije je od razdvajanja centrifugiranjem, ali su učinci slabiji. Zbog toga je sedimentacija prikladna kad je centrifugiranje ili filtriranje preskupo jer se prerađuju velike količine mulja male vrijednosti ili se mora razdvojiti bezvrijedni mulj od izbistrene kapljevine.

Tipične su industrijske primjene sedimentacije: uklanjanje mulja iz otopina prije koncentriranja isparivanjem i prije kristalizacije u proizvodnji šećera (v. *Šećeri*), odvajanje mulja iz vode za piće i za tehnološke svrhe (v. *Voda*) te iz otpadnih voda (v. *Otpadne vode*, TE 10, str. 64), ugušćivanje odvodnjavanjem flotacijskih koncentrata minerala prije filtriranja i sirovinskih muljeva prije pečenja kojim se dobiva klinker u proizvodnji cementa mokrim postupcima (v. *Cement*, TE 2, str. 586). U proizvodnji natrij-hidroksida (v. *Natrij*, TE 9, str.

273) pri kaustifikaciji sode vapnom primjenjuje se sedimentacija, u kojoj su korisni proizvodi i izbistrena kapljevina i sediment. Sedimentacija se također upotrebljava u ispiranju korisnih proizvoda iz netopljivih čvrstih tvari procesima kontinuirane protustrujne dekantacije. Takav je, npr., Dorrov dekantacijski postupak proizvodnje fosfatne kiseline (v. *Fosfor*, TE 5, str. 514). Ispiranje finih čestica u cijanidnom postupku proizvodnje zlata (v. *Zlato*) jedna je od najpoznatijih operacija te vrste.

**Mehanizam sedimentacije.** U toku sedimentacije iz suspenzije se odjeljuju čestice čvrste tvari djelovanjem gravitacije (ili centrifugalne sile), stvarajući sloj mulja koji se, kao i izbistrena kapljevina, kontinuirano ili diskontinuirano odvodi.

U cilindrični uređaj za sedimentaciju (sl. 1) uvodi se suspenzija. Budući da je gustoća suspenzije veća od izbistrene kapljevine, suspenzija pada do razine gornje granice sedimentacijske zone iznad koje se nalazi izbistrena kapljevina. Tu se suspenzija radijalno širi po presjeku posude. U zoni izbistrene kapljevine koncentracija je čestica čvrste tvari vrlo malena kad je uređaj dobro konstruiran i kad se proces dobro vodi. Gornju granicu sedimentacijske zone karakterizira nagla promjena koncentracije čestica čvrste tvari, pa ona čini granicu između bistre kapljevine i suspenzije. U sedimentacijskoj se zoni čestice čvrste tvari, neovisno o svojim dimenzijama, gibaju brzinom koja ovisi samo o lokalnoj koncentraciji tih čestica. To se postiže samo od sebe kad je koncentracija čestica velika ili međusobnim djelovanjem pahuljičastih čestica (flokula) kad je koncentracija malena.



Sl. 1. Proces u cilindričnom uređaju za sedimentaciju.  $q_v$  volumni protok suspenzije,  $q_{v,1}$  volumni protok izbistrene kapljevine,  $q_{v,2}$  volumni protok gustog mulja

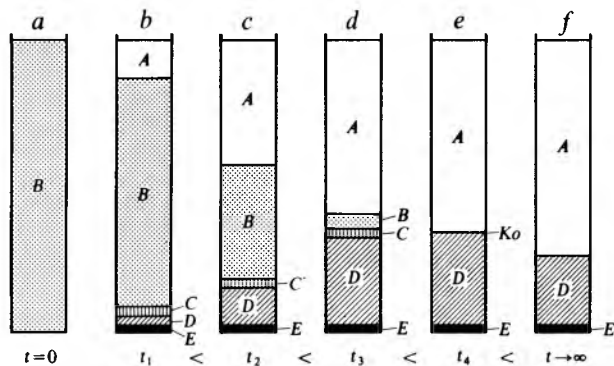
U najdonjoj, kompresijskoj zoni čestice se zgušnjavaju svladavanjem sila koje djeluju među pahuljicama, odnosno česticama. To se događa tlačnim djelovanjem gornjih slojeva istaloženih čestica.

Između sedimentacijske i kompresijske zone nalazi se pahuljičasta, prijelazna zona. Prijelazne zone nema, a ni znatnijeg zgušnjavanja u kompresijskoj zoni, kad ne postoji pahuljičasto djelovanje među česticama čvrste tvari. Tada čestice koje se talože dopijevaju neposredno u gusti mulj koji se ne može znatnije zbiti.

Najčešće se sedimentacija odvija u pahuljičastim uvjetima, pa se često suspenziji dodaju sredstva za pahuljičanje (flokuliranje) da bi se povećala brzina taloženja i kapljevina bolje izbistrila. Dodavanjem polimera kao sredstva za pahuljičanje bitno se intenzivira proces sedimentacije. Upotrebom tih sredstava, međutim, dobiva se mulj s manjom koncentracijom čvrstih čestica.

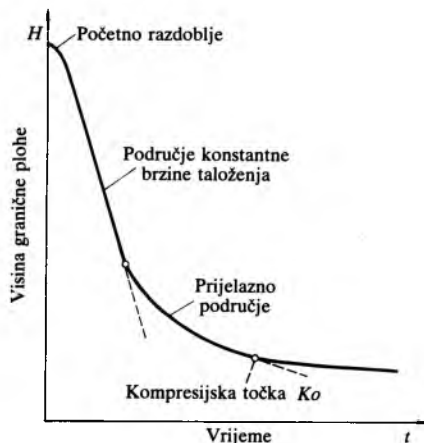
**Eksperimentalno određivanje procesnih parametara.** Teorijsko određivanje brzine taloženja skupčano je s velikim teškoćama, pa zbog toga preostaje da se brzina taloženja odredi eksperimentalno. To se provodi u cilindričnoj posudi koja, da bi se eliminirao utjecaj stijenki, mora imati promjer veći od 50 mm.

Eksperimentalna se suspenzija nalije u cilindričnu posudu uz dodatak, ako je potrebno, sredstva za pahuljičanje, pa se nekoliko puta obrne da bi se dobro izmiješala. Eksperiment se nastavlja promatranjem faza taloženja (sl. 2). Vrlo se brzo



Sl. 2. Formiranje zona tokom pokusa sedimentacije u mjernom cilindru. A bistra zona, B sedimentacijska zona, C prijelazna zona, D kompresijska zona, E sloj krupnih čestica, Ko kompresijska točka

pojavljuje izrazita granična ploha između gornje, bistre zone (A na sl. 2) i donje, sedimentacijske zone (B na sl. 2). Položaj te granične plohe kao funkcije vremena u jednom primjeru prikazan je na sl. 3. Ako, međutim, u suspenziji postoje krupnije čestice, one razbijaju plastičnu, odnosno pseudoplastičnu strukturu sedimentacijske zone i brzo padaju na dno posude (E na sl. 2). Iznad toga se sloja izlučivanjem čestica iz sedimentacijske zone, u kompresijskoj zoni (D na sl. 2), taloži gusti mulj. Koncentracija je čvrstih čestica najveća na dnu kompresijske zone i ona se smanjuje prema njezinu vrhu. Ta se koncentracija s vremenom sve više povećava. Između sedimentacijske zone B i kompresijske zone D pojavljuje se prijelazna zona C. Ona može ispuniti prostor između bistre zone A i kompresijske zone D, ali može i izostati. S napredovanjem sedimentacije postaje sedimentacijska zona B sve manja dok konačno ne ostanu samo bistra zona A i kompresijska zona D. Položaj granične plohe između tih dviju zona naziva se kompresijska točka Ko (sl. 2e). Nakon toga sediment postaje sve gušći dok se položaj te granične plohe ne prestane mijenjati.

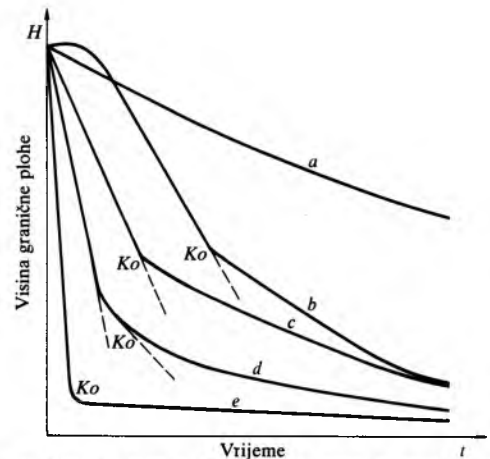


Sl. 3. Krivulja taloženja pahuljičaste suspenzije

U prikazanom je primjeru (sl. 3) sniženje visine granične plohe u početnom razdoblju usporeno zbog preuređivanja pahuljičaste strukture. To se pojavljuje pri sedimentaciji suspenzija manje koncentracije (krivulja b na sl. 4). Nakon početnog razdoblja razina se granične plohe smanjuje konstantnom brzinom (linearni dio krivulje). Kad se radi o gustom mulju, odmah se pojavljuje kompresijska zona ili barem prijelazna zona. Tada nema ni linearnog dijela krivulje (a na sl. 4).

Položaj kompresijske točke nije uvijek tako izrazit kao točka loma (na krivuljama b i c na sl. 4). Kad ne postoji izrazita točka loma, njezino se pronalaženje može olakšati ako se krivulja prikaže kao  $\lg H = f(\lg t)$ . Kad se radi o rijetkim pahuljičastim muljem, ne pojavljuje se točka loma, pa se ispomaže točkom krivulje gdje je zakrivljenje najveće. Slično

je kad se ispituje rijetka suspenzija koja nema pahuljičastu strukturu (krivulja e na sl. 4).

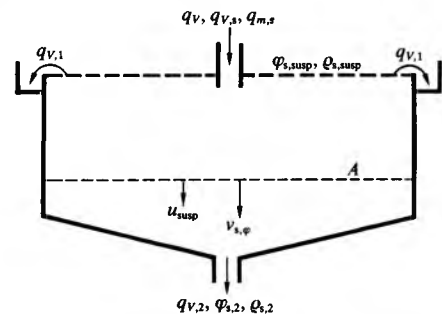


Sl. 4. Tipične krivulje taloženja. a gusta pahuljičasta i nepahuljičasta suspenzija, b pahuljičasta i nepahuljičasta suspenzija srednje koncentracije s početnim razdobljem, c kao b ali bez početnog razdoblja, d rijetka pahuljičasta suspenzija, e rijetka nepahuljičasta suspenzija

Kad se promatra kontinuirana stacionarna sedimentacija, treba znati da se gibanje čvrstih čestica u svakoj točki sedimentacijske zone sastoji od dviju komponenata od kojih se jedna može karakterizirati relativnom brzinom  $v_{s1}$  čvrstih čestica s obzirom na kapljevinu, a druga brzinom suspenzije

$$u_{\text{susp}} = \frac{q_{v,2}}{A}, \tag{1}$$

gdje je  $q_{v,2}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) volumni protok mulja, a  $A$  površina presjeka posude. Suspenzija se giba zbog kontinuiranog odvođenja mulja kroz otvor na dnu posude (sl. 5).



Sl. 5. Model uređaja za sedimentaciju.  $q_v$  volumni protok suspenzije,  $q_{v,1}$  volumni protok izbistrene kapljevine,  $q_{v,2}$  volumni protok gustog mulja,  $q_{v,s}$  volumni protok čvrstih čestica,  $q_{m,s}$  maseni protok čvrstih čestica,  $v_{s,\varphi}$  relativna brzina čvrstih čestica s obzirom na kapljevinu,  $u_{\text{susp}}$  brzina suspenzije u sedimentacijskoj zoni,  $A$  površina presjeka posude,  $\varphi_{s,\text{susp}}$  volumni udio čvrstih čestica u suspenziji,  $\varphi_{s,2}$  volumni udio čvrstih čestica u gustom mulju,  $\varrho_{s,\text{susp}}$  masena koncentracija čvrstih čestica u suspenziji,  $\varrho_{s,2}$  masena koncentracija čvrstih čestica u gustom mulju

Volumni je protok čvrstih čestica po presjeku posude

$$R = \frac{q_{v,s}}{A} = \varphi_s(v_{s,\varphi} + u_{\text{susp}}), \tag{2}$$

gdje je  $q_{v,s}$  volumni protok čvrstih čestica ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), a  $\varphi_s$  njihov volumni udio, dok je maseni protok čvrstih čestica po presjeku posude

$$S = \frac{q_{m,s}}{A} = \varrho_s(v_{s,\varphi} + u_{\text{susp}}), \tag{3}$$

gdje je  $q_{m,s}$  maseni protok čvrstih čestica, a  $\varrho_s$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) njihova masena koncentracija.

Ako se uzme u obzir izraz (1) i postavi da je  $v_{s,\varphi} = 0$  u razini otvora za odvođenje mulja, dobiva se prema (2) da je

$$R = \varphi_{s,2} \frac{q_{v,2}}{A}, \quad (4)$$

gdje je  $\varphi_{s,2}$  volumni udio čvrstih čestica u mulju na izlazu iz posude. Pomoću izraza (2) dobiva se

$$\frac{A}{q_{v,s}} = \frac{1}{v_{s,\varphi}} \left( \frac{1}{\varphi_s} - \frac{1}{\varphi_{s,2}} \right). \quad (5)$$

Analogno se dobiva, uz  $v_{s,\varphi} = 0$ , da je

$$S = \varrho_{s,2} \frac{q_{v,2}}{A}, \quad (6)$$

gdje je  $\varrho_{s,2}$  masena koncentracija čvrstih čestica u mulju na izlazu iz posude, pa se pomoću izraza (3) dobiva

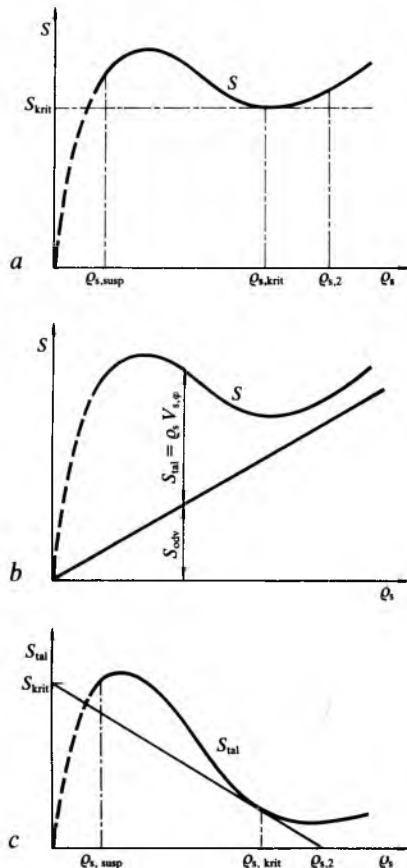
$$\frac{A}{q_{m,s}} = \frac{1}{v_{s,\varphi}} \left( \frac{1}{\varrho_s} - \frac{1}{\varrho_{s,2}} \right). \quad (7)$$

Za dimenzioniranje uređaja za sedimentaciju polazi se od izraza (7), koji se može napisati u obliku

$$S = \frac{q_{m,s}}{A} = \frac{v_{s,\varphi}}{\frac{1}{\varrho_s} - \frac{1}{\varrho_{s,2}}}. \quad (8)$$

U sedimentacijskom procesu postoji neka razina koncentracije koja određuje učinak cijelog procesa. Ta se kritična razina koncentracije može odrediti pomoću niza ispitivanja šaržnog procesa. Za to se upotrebljava dovoljna količina suspenzije koja se ispituje. Iz nje se sedimentacijom najprije odijeli voda i gusti mulj, te se od njih miješanjem prave suspenzije različite koncentracije čvrstih čestica. Tako se ne mijenja koncentracija iona u vodi.

Uz pretpostavku da je u zoni sedimentacije relativna brzina  $v_{s,\varphi}$  funkcija samo lokalne koncentracije čvrstih čestica,



Sl. 6. Maseni protok čvrstih čestica po presjeku ( $S$ ) kao funkcija masene koncentracije čvrstih čestica ( $\varrho_s$ ). a ukupni maseni protok pri kontinuiranom procesu, b protok zbog taloženja ( $S_{tal}$ ) i protok zbog odvođenja gustog mulja ( $S_{sed}$ ), c konstrukcija za određivanje  $\varrho_{s,2}$  (prema Yoshioki)

smiju se brzine taloženja pri diskontinuiranoj sedimentaciji primijeniti i na kontinuirane procese. Smije se, dakle, pretpostaviti da se i u kontinuiranom procesu pojavljuje skok koncentracije koji odgovara graničnoj plohi između bistre i sedimentacijske zone i koja se s obzirom na kapljevину giba relativnom brzinom  $v_{s,\varphi}$ .

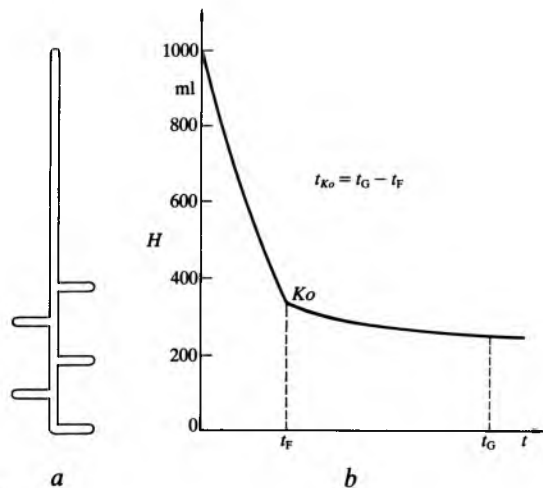
Na sl. 6a prikazan je maseni protok  $S$  čvrstih čestica po presjeku posude za sedimentaciju u ovisnosti o njihovoj koncentraciji  $\varrho_s$ . Vrijednosti su ordinata određene pokusima i izračunane pomoću izraza (3). Taj se maseni protok  $S$  čvrstih čestica sastoji od dva dijela: od protoka uzrokovanog taloženjem i protoka zbog kontinuiranog odvođenja mulja. Promjena tih utjecaja s koncentracijom čvrstih čestica prikazana je na sl. 6b. Pomoću dijagrama na sl. 6a može se odrediti kritična koncentracija čvrstih čestica  $\varrho_{s,krit}$  i pripadni joj maseni protok  $S_{krit}$  po presjeku posude. Kad je sedimentacijski aparat opterećen masenim protokom  $S > S_{krit}$ , stvara se kritična zona koja stalno raste dok čvrste čestice ne prodru u preljev što je predviđen za odvod izbistrene kapljevine (sl. 5). Kad je, međutim,  $S < S_{krit}$ , neće se pojaviti kritična zona. Budući da se sedimentacija uvijek projektira tako da se računa s određenom rezervom, kritična se zona u normalnom pogonu ne pojavljuje.

Kad se odredi vrijednost  $S_{krit}$ , može se odrediti potrebni presjek sedimentacijske posude pomoću izraza

$$A = \frac{q_{m,s} K}{S_{krit}}, \quad (9)$$

gdje je  $K$  sigurnosni faktor kojemu je vrijednost unutar 1,2...1,3.

Gusti se mulj komprimira svladavanjem sila koje djeluju među pahuljičastim česticama. Sve do najnovijeg vremena kompresiji se mulja poklanjalo malo pažnje. Međutim, s vremenom se spoznalo da u pahuljičastoj suspenziji pojave u kompresijskoj zoni imaju odlučan utjecaj na sedimentaciju. Zbog toga se nastoji ostvariti model kojim bi se utvrdilo trajanje kompresije. Ta se ispitivanja provode sedimentacijom u mjernom cilindru volumena 1 L. Eksperimentalna se suspenzija priprema na već opisani način, a odabire se tolika početna koncentracija čvrstih čestica da volumen komprimiranog mulja iznosi 20...30% ukupnog volumena. Za simulaciju postupka s grabljama služi uređaj za miješanje standardne izvedbe (sl. 7a). On se na prekide okreće ukupnom brzinom od jednog okreta u satu. U toku taloženja registrira se položaj granične plohe u ovisnosti o vremenu. Na krivulji koja prikazuje tu ovisnost (sl. 7b) određuje se, na već opisani način, kompresijska točka  $Ko$ , kojoj odgovara trenutak  $t_F$ . Trenutak  $t_G$  određen je postignućem tražene koncentracije gustog mulja. Trajanje je kompresije  $t_{Ko} = t_G - t_F$ . Prosječni volumen komprimiranog mulja  $V_{Ko}$  određen je prosječnim volumenom između  $t_F$  i  $t_G$ . Budući da se zone sedimentacije



Sl. 7. Ispitivanje kompresije. a standardna miješalica, b ovisnost položaja granične plohe o trajanju taloženja

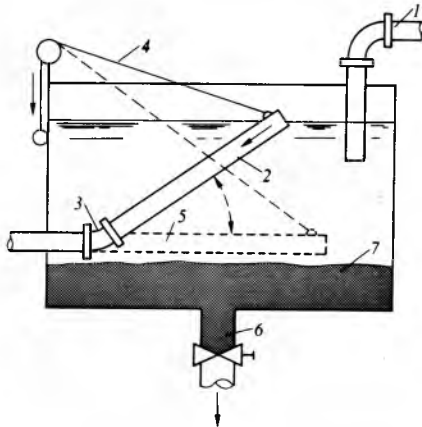
određuju za cijeli proces, za koji vrijedi da je maseni protok po presjeku jednak  $S_{krit}/K$  ( $K = 1,2 \dots 1,3$ ), dobiva se da je potrebna visina kompresijskog prostora u sedimentacijskom aparatu

$$H_{Ko} = \frac{S_{krit} t_{Ko} V_{Ko}}{K q_{m,s}} \quad (10)$$

Ako se, međutim, dobije da je  $H_{Ko} > 1$  m, potrebno je smanjiti maseni protok  $S_{krit}$  toliko da se dobije  $H_{Ko} = 1$  m.

**Postupci sedimentacije.** Sedimentacija se vodi šaržnim ili kontinuiranim postupcima. Za obje vrste tih postupaka upotrebljavaju se aparati s posudama zvani *taložnici* ili *sedimentatori*. Prema tome da li se proces promatra kao bistrenje ili kao ugušćivanje, za aparate se upotrebljavaju i nazivi *izbistrivači* (*klarifikatori*), odnosno *ugušćivači*.

**Šaržna sedimentacija** upotrebljava se za male učinke preradbe. Vodi se jednostavnim taložnicima (sl. 8). Obično su to četvrtaste posude s ravnim ili cilindrične posude sa stožastim dnom i uređajima za dovod mulja, za dekantiranje izbistrene kapljevine i za ispušt sedimenta. Posuda se napuni muljem, a nakon što se dostigne kritična točka taloženja, dekantira se izbistrena kapljevina i zatim se ispusti sediment.



Sl. 8. Taložnik za šaržnu sedimentaciju. 1 dovod mulja, 2 cijev za dekantiranje, 3 fleksibilni zglob cijevi za dekantiranje, 4 lanac za spuštanje i podizanje cijevi za dekantiranje, 5 položaj cijevi pri kraju dekantiranja, 6 ispušt sedimenta, 7 sloj sedimenta nakon taloženja

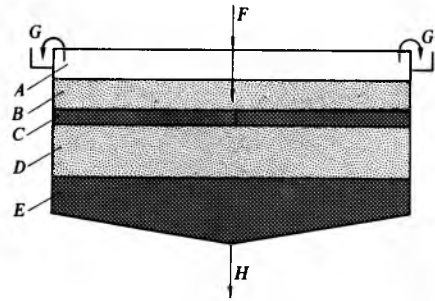
Za neke specijalne procese sedimentacije kao što je npr. sedimentacija uz izmrzavanje kristalizata koji se sporo formiraju i sporo talože, zbog male razlike između njihove gustoće i gustoće kapljevine iz koje se izlučuju, upotrebljavaju se taložnici drukčijih oblika. Tako se npr. za *demargariniranje* (v. *Masti i ulja*, TE 7, str. 685) upotrebljavaju visoke posude malog promjera koje se smještaju u hladene prostorije.

**Kontinuirana sedimentacija** vodi se taložnicima koji imaju mehaničke uređaje za grabljanje sedimenta s pripadnim pogonskim sklopom (zbog toga se nazivaju i *mehaničkim taložnicima*), preljevnim kanalom za odvođenje izbistrene kapljevine, te uređajem za stalno dovodenje mulja. Cilindrične su posude razmjerno plitke, stožasta su dna i vrlo velika promjera. Proces je sličan procesu u šaržnim taložnicima, ali samo u početku radnog ciklusa (sl. 9), i to sve dok procesni sustav ne dostigne stanje u kojem su se formirale sve zone, pa se ono dalje održava, a proces postaje stacionaran. Od tog trenutka visine formiranih zona održavaju se praktički konstantima dovođenjem novog mulja i odvođenjem izbistrene kapljevine i sedimenta.

Grablje kontinuiranih taložnika služe za guranje istaložene čvrste tvari prema središtu stožastog dna, gdje se nalazi ispušt sedimenta, i za uspješnije odvajanje kapljevine iz istaloženog sedimenta. Da bi se to postiglo, potrebno je da se giba samo sloj sedimenta. To se postiže malom brzinom vrtnje grabalja, primjerenom svojstvima kapljevine i čvrste tvari.

Konstrukcije se kontinuiranih taložnika moraju mnogo više prilagoditi procesnim zahtjevima nego konstrukcije

šaržnih taložnika. One uglavnom zavise od karakteristika mulja koji se preraduje (od dimenzija čestica i njihova udjela u mulju). Zbog toga postoje i razlike između kontinuiranih ugušćivača i kontinuiranih klarifikatora, pa se zato oni promatraju kao dvije osnovne skupine kontinuiranih taložnika.



Sl. 9. Taložnik za kontinuiranu sedimentaciju u ustaljenom stanju. A...E zone procesnog sustava kao na sl. 2, F dovod mulja, G preljevni kanal za odvod izbistrene kapljevine, H odvod sedimenta

Konstrukcije mehaničkih uređaja kontinuiranih taložnika bitno utječu na njihove dimenzije. Takvi se uređaji mogu smjestiti centralno (u tzv. *torzijskim taložnicima*) ili se gibaju po rubu posude (u tzv. *vučnim taložnicima*). Dimenzije centralnih uređaja više su ograničene jer su tada krakovi grabalja napregnuti svijanjem. Dakako, obodne brzine krakova na grabljama različitih dimenzija taložnika moraju biti približno jednake, pa njihova brzina vrtnje mora biti to manja što je promjer taložnika veći. Zbog toga su opterećenja tih krakova mala, pa su potrebne i male snage za pogon grabalja (tabl. 1).

Tablica 1  
OSNOVNE MEHANIČKE KARAKTERISTIKE POGONA JEDNOKOMORNIM MEHANIČKIM KONTINUIRANIM UGUŠĆIVAČA

Približne glavne dimenzije aparata			Približna potrebna snaga pogonskog motora kW	Približna brzina vrtnje grabalja min <sup>-1</sup>
Promjer posude m	Dubina u sredini m	Promjer korita za hranjenje m		
6,5	2,5	0,7	0,4	0,25
20	3,5	3	0,7	0,1
33	4	4	1	0,08
50	5	7	1,7	0,05
65	6	8	5	0,04

Osim u velikim taložnicima, kontinuirana je sedimentacija moguća i u drugim tipovima uređaja. To su stožaste posude s vrhom okrenutim prema dolje, tzv. *taložni lijevci*, s nagibom stijenki od 45°...60°. U te se taložnike mulj ulijeva kroz uronjeni, u sredinu smješteni dovod. Izbistrena kapljevina odvodi se iz njih rubnim kružnim koritom, a sediment kroz ispušt na dnu. Takvi su uređaji ekonomični samo ako su razmjerno maleni (do promjera od ~3 m na gornjem rubu), jer su za veće potrebne skupe potporne konstrukcije i previše su visoki.

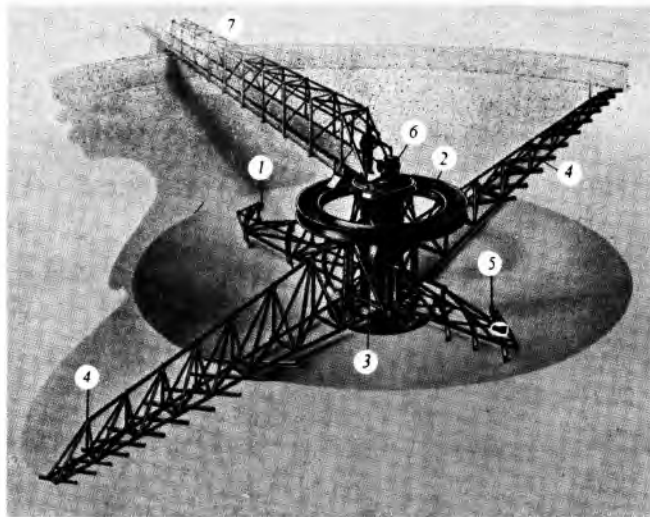
Da bi mogli uspješno funkcionirati, kontinuirani taložnici moraju biti spregnuti u postrojenja instalacijama za dovod i odvod kapljevine i sedimenta.

**Mehanički kontinuirani ugušćivači.** Glavnu skupinu mehaničkih kontinuiranih ugušćivača čine takvi kojima radni prostor nema nikakvih pregrada (*jednokomorni mehanički kontinuirani ugušćivači*). Kao i svi taložnici, i jednokomorni taložnici imaju vrlo velik poprečni presjek. Kad je potrebno štedjeti ugradbenu površinu, grade se *višekomorni mehanički kontinuirani ugušćivači*. To su zapravo agregati od dvaju ili više jednokomornih ugušćivača u vertikalnom nizu. Osim toga, u tu se skupinu ubrajaju i posebni uređaji za kombiniranu sedimentaciju i filtriranje (*filtrarski ugušćivači*).

Jednokomorni mehanički kontinuirani ugušćivači s centralnim smještajem mehaničkog uređaja (*torzijski ugušćivači*, sl.

10) imaju automatsku regulaciju brzine vrtnje i mogućnost pomaka krakova s grabljama prema gore i unatrag kad su grablje malo preopterećene, odnosno mogućnost obustavljanja pogona kad opterećenje dostigne kritičnu vrijednost.

Vučni jednodomorni mehanički kontinuirani ugušivači (sl. 11) imaju kao pogonski sklop motorna kolica koja se



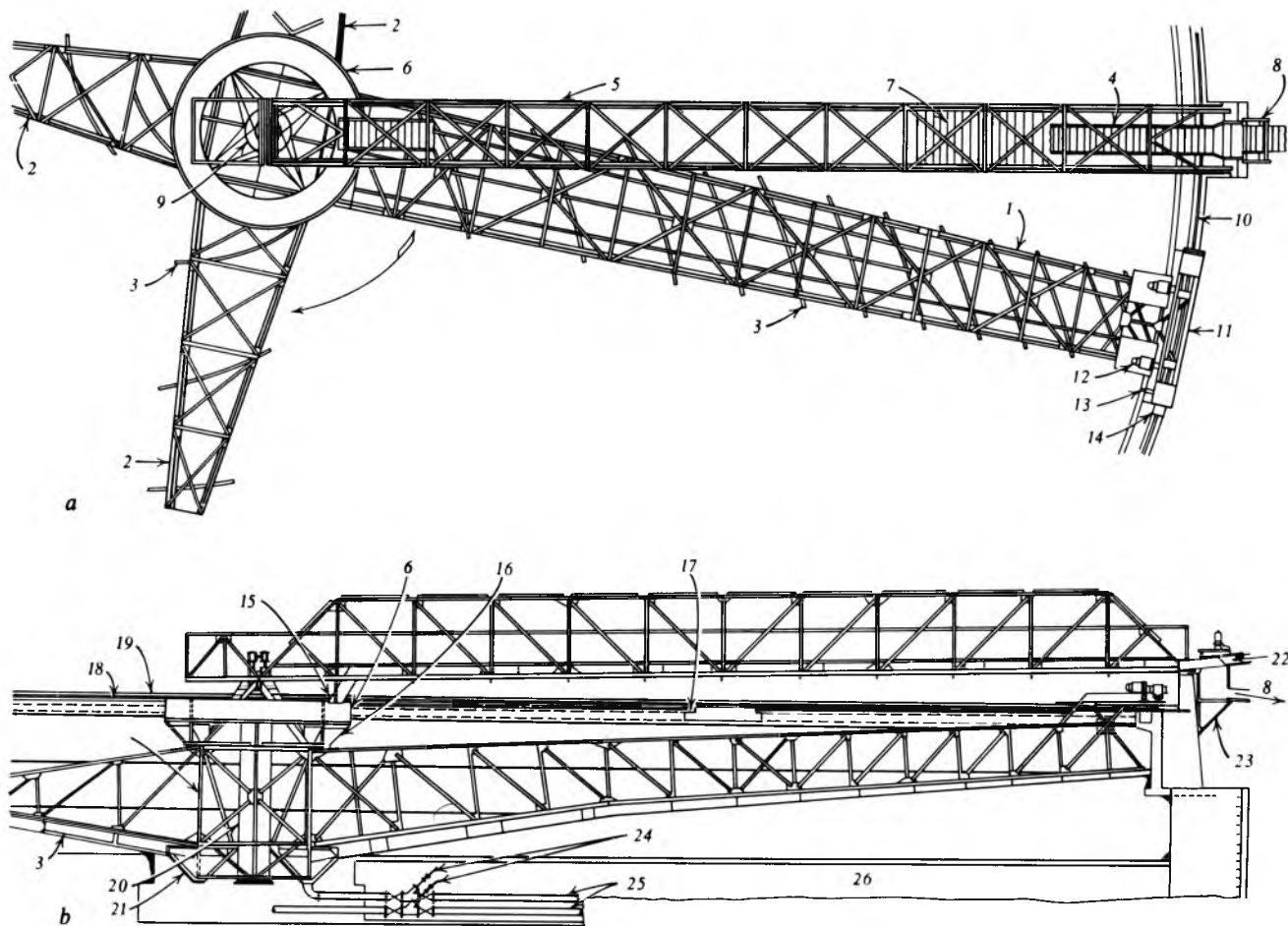
Sl. 10. Sustav grabalja i dovoda mulja jednodomornog mehaničkog kontinuiranog ugušivača (tvrtka Dorr-Oliver). 1 dovod mulja, 2 kanal za dovod mulja, 3 vratilo grabalja, 4 grablje s dugim krakom, 5 grablje s kratkim krakom, 6 pogonski sklop s upravljačkim uređajem, 7 pristupni most

gibaju po tračnicama učvršćenim na pogonski krak, koji se gibljivo oslanja na središnji stup. Ona se mogu kretati do približno trećine polujmera posude. Veliki ugušivači imaju uređaj za obustavu pogona kad opterećenje prekorači kritičnu vrijednost. Mogu imati promjer i do 125 m.

Višekomorni mehanički kontinuirani ugušivači mogu imati 2...6 komora. One su međusobno pregrađene stožastim pladnjevima s vrhom okrenutim prema dolje, a djeluju kao pogonska cjelina. Svi krakovi s grabljama u svim su komorama tih ugušivača učvršćeni na zajedničko vratilo sa zajedničkim pogonom. Promjer je takvih ugušivača 3,3...30 m, a visina 1,3...3,3 m.

U otvorenim višekomornim ugušivačima mulj se dovodi centralno na površinu kapljevine u gornjoj komori, a u donje komore kroz prstenaste otvore oko središnjeg otvora. Preljevni se proizvod odvodi iz svake komore. Skupljeni se sediment grablja i kroz prstenaste otvore odvodi u donju komoru, sve do najdonje, gdje se dalje ugušuje prije nego što se odvede iz ugušivača.

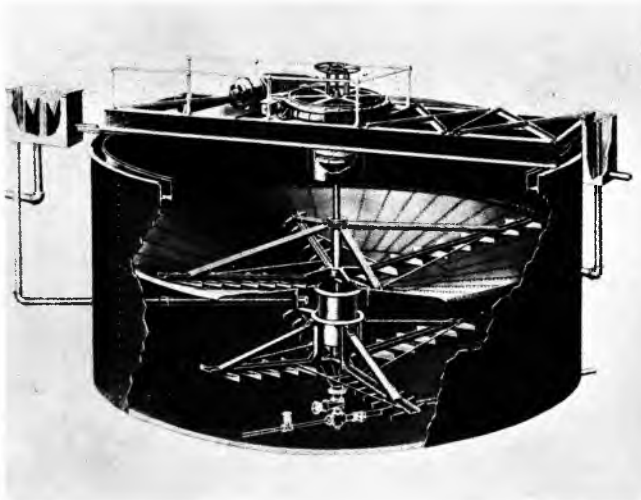
Ugušivači s balansiranim pladnjevima (sl. 12) imaju također više komora. Svaka od njih ima odvojeni dovod mulja i zasebno odvođenje preljevnog proizvoda. Međutim, sediment u tim aparatima teče djelovanjem gravitacije iz jedne u drugu komoru kroz široka cilindrična korita koja su gornjim rubom učvršćena na ispusne otvore pladnjeva, a donjim zaronjena pod površinu sedimenta u nižoj komori. Tako su komore na strani ispusta sedimenta izolirane jedna od druge, pa mogu, nezavisno jedna od druge, raditi kao paralelno spojene komore. U takvu programnu potrebno je održavati razine zona na određenoj visini, pa zato postoje potrebni regulacijski uređaji.



Sl. 11. Vučni jednodomorni mehanički kontinuirani ugušivač (tvrtka Dorr-Oliver). a pogled odozgo, b pogled sa strane; 1 pogonski krak, 2 stražnji krakovi, 3 plug grabalja, 4 dovod mulja, 5 nosač dovoda mulja, 6 korito za dovod mulja, 7 pristupni hodnik, 8 mimovod, 9 okretna glava, 10 tračnica, 11 pogonski mehanizam, 12 pogonski motor, 13 kućište lanca, 14 uređaj za zasipanje tračnica pijeskom, 15 izljev dovoda mulja, 16 potporan dovodnog korita, 17 uređaj za održavanje razine, 18 razina kapljevine, 19 rub tračnica, 20 središnji stup, 21 strugač sredine, 22 dovod mulja, 23 konzola mimovoda, 24 visokotlačni dovod vode za ispiranje, 25 odvod sedimenta, 26 tunel

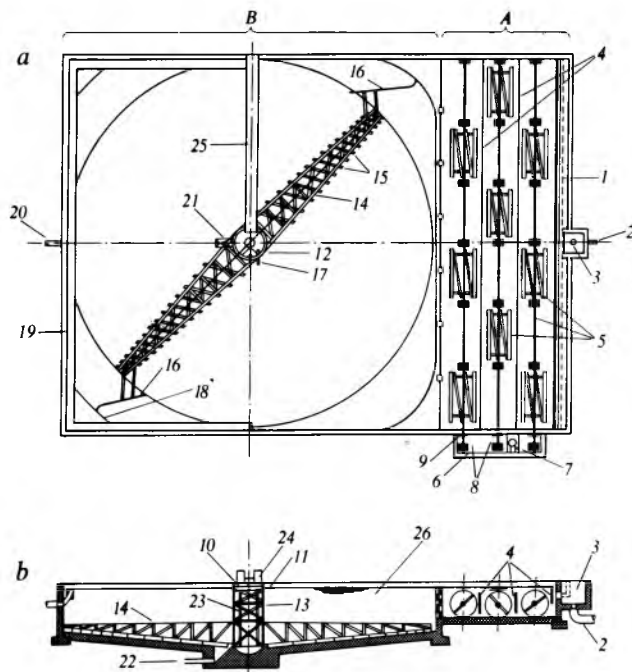


Grade se i ugušćivači s balansiranim pladnjevima za serijsko djelovanje. Oni su prikladni za protustrujne dekantacijske operacije u procesima ispiranja. U te se ugušćivače mulj dovodi s površine gornje, a kapljevina za ispiranje s dna donje komore.



Sl. 12. Dvokomorni mehanički kontinuirani ugušćivač s balansiranim pladnjevima

*Filtarski ugušćivači* mogu biti četvrtaste ili cilindrične posude koje imaju filtarske uređaje slične elementima filtera s patronama (v. *Filtracija*, TE 5, str. 414). Takvi se uređaji konstruiraju za rad pod sniženim tlakom za vrijeme formiranja filtarskog kolača, ali i za rad pod povišenim tlakom koji je dovoljan da skinu kolač kad on dostigne potrebnu debljinu. Tako skinuti kolač pada na dno u zonu sedimenta. Da bi se to postiglo, komora se alternativno uključuje na uređaje za odsisavanje i tlačenje. Filtarski ugušćivači upotrebljavaju se za ugušćivanje finih disperzija ili disperzija s malim razlikama gustoće između kapljevine i čvrste tvari.



Sl. 13. Klarifikator s flokulatorom. *a* pogled odozgo, *b* poprečni presjek, *A* flokulator, *B* klarifikator; 1 dovodno korito mulja, 2 dovod mulja, 3 komora za miješanje s kemikalijama, 4 pregrade, 5 kola s lopaticama, 6 suha jama, 7 pogonski motor, 8 lančanica, 9 brtvenica, 10 difuzor, 11 okretni stol, 12 pogonski sklop, 13 kavez, 14 krakovi grabalja, 15, 16 i 17 plugovi grabalja, 18 vodilna ploča, 19 preljerni kanal, 20 odvod proizvoda, 21 jama za sediment, 22 odvod sedimenta, 23 betonski stup, 24 ručni zasun, 25 pristupni most, 26 razina vode

**Mehanički kontinuirani klarifikatori.** Zahtjevi koji se postavljaju kod uređaja za bistrenje muljeva u metalurškoj i kemijskoj industriji vrlo se malo razlikuju od zahtjeva kod uređaja za ugušćivanje, pa se i njihove konstrukcije vrlo malo razlikuju.

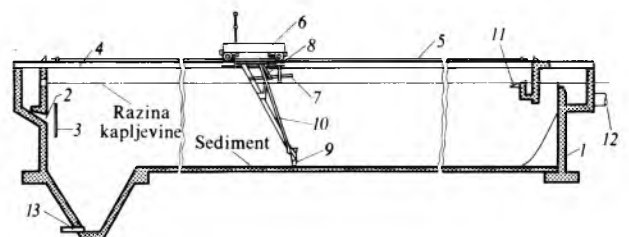
Tipični se mehanički kontinuirani klarifikatori upotrebljavaju samo za sedimentaciju muljeva s finim i laganim česticama čvrste tvari i s velikim udjelom kapljevine (za čišćenje vode i preradbu kanalizacijskih i industrijskih otpadnih voda).

Mehanički kontinuirani klarifikatori mogu biti horizontalni i vertikalni, te jednokomorni i višekomorni.

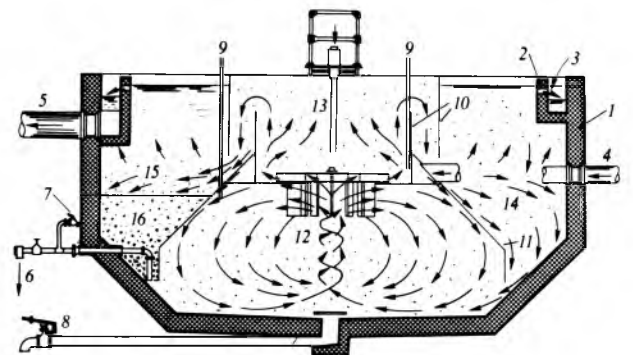
*Horizontalni klarifikatori* imaju najčešće vodoravno strujanje. Mulj se dovodi centralno odozgo ili s dna, a preljerni se proizvod odvodi preko rubova. Razlikuju se klarifikatori s rotirajućim krakovima (*rotirajući klarifikatori*) i klarifikatori s pravokutnim sustavom grabalja (*pravokutni skupljači*).

*Rotirajući horizontalni klarifikatori* imaju obično dva kraka s grabljama. Djeluju slično kao jednokomorni ugušćivači. Njihove posude mogu biti cilindrične i četvrtaste. Rotirajući klarifikatori prikladni su za sprežanje u agregate s flokulatorima (sl. 13), a pogodni su za čišćenje vode, osobito za njezino omekšavanje. U bazenima za flokulaciju voda se intenzivno miješa s kemikalijama i tamo se dovoljno dugo zadržava da bi se aglomerirale čestice koje su u vodi ili su se izlučile kemijskim reakcijama. Da bi se postiglo intenzivno miješanje, u tim bazenima postoje kola s lopaticama na zajedničkim vratilima i pregrade za usmjeravanje strujanja. Flokulacijom postignuta aglomeracija čestica pospješuje taloženje u sedimentacijskoj posudi u koju mulj dotječe kroz perforiranu pregradu. Preljevni se proizvod odvodi kroz korito na rubu suprotnom od ulaza mulja, a sediment kroz džep na dnu.

*Pravokutni skupljači* pravokutne su betonske posude, a mogu biti lančani i mosni. U *lančanom pravokutnom skupljaču* sediment se tjera dosta razmaknutim grabljama koje su učvršćene na beskonačnom lancu, prema ispusnom lijevku na suprotnoj strani od dovoda mulja. *Mosni skupljači* (sl. 14) imaju grablje obješene o kolica koja se gibaju po mostu s tračnicama iznad posude.

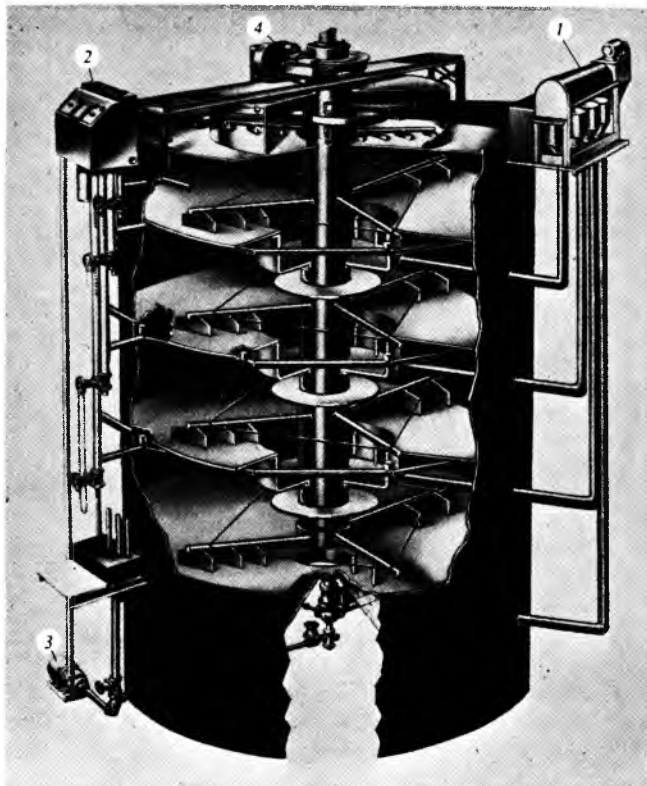


Sl. 14. Mosni pravokutni sakupljač sedimenta. 1 betonske stijenke, 2 dovod mulja, 3 pregrada, 4 mosni nosač, 5 tračnice, 6 kolica, 7 uređaj za skupljanje pjene, 8 podizač uređaja 7, 9 strugač, 10 podizač strugača, 11 hvatač pjenastog otpada, 12 ispus preljernog proizvoda, 13 odvod sedimenta



Sl. 15. Akcelerator za čišćenje vode. 1 betonske stijenke, 2 preljerni kanal, 3 otvori za prolaz preljernog proizvoda, 4 dovod vode za čišćenje, 5 odvod preljernog proizvoda, 6 odvod sedimenta, 7 pipac za uzimanje uzoraka, 8 izljev, 9 dovod kemikalija, 10 i 11 pregrade za usmjeravanje strujanja, 12 primarna, 13 sekundarna reakcijska zona, 14 zona povratnog toka, 15 sedimentacijska komora, 16 lijevak za koncentriranje sedimenta

U vertikalnim klarifikatorima materijal struji pretežno okomito. Među tim aparatima najpoznatiji su tzv. akceleratori (sl. 15), prikladni za pročišćavanje vode. U akceleratoru voda najprije, uz snažno miješanje, prolazi kroz dvije reakcijske zone gdje se sediment flokulira, a zatim dospijeva u sedimentacijsku komoru. Odatle se s vrha odvodi očišćena voda, a s dna sediment.



Sl. 16. Višekomorni klarifikator za preradbu soka šećerne trske. 1 dovod, 2 sustav za skupljanje sedimenta, 3 pumpa za odvođenje sedimenta, 4 pogonski sklop

Višekomorni klarifikatori (sl. 16) upotrebljavaju se kad je potrebno štedjeti ugradbenu površinu. Obično se grade za paralelno funkcioniranje komora i slični su višekomornim ugušćivačima s balansiranim pladnjevima. Ima, međutim, nekih konstrukcija s obrnuto okrenutim pladnjevima na koje se periferno dovodi mulj i s kojih se također periferno odvodi sediment, a sa središta izbistrena kapljevina. U njima se sediment grablja prema periferiji i odvodi u nižu komoru kroz periferna korita.

LIT.: G. G. Brown and Associates, Unit Operations. J. Wiley and Sons, New York 1950. – A. S. Foust, L. A. Wenzel, C. W. Clump, L. Maus, L. B. Andersen, Principles of Unit Operations. J. Wiley and Sons, New York-London 1960. – A. Anable, Sedimentation, u djelu: J. H. Perry, Chemical Engineers Handbook. McGraw-Hill, New York 1963. – F. L. Bosqui, Sedimentation, u djelu: Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 17. Interscience Publishers, New York 1968. – K. Imhoff, Taschenbuch für Stadtentwässerung. R. Oldenburg, München 1969. – W. Gundelach, Sedimentation, u djelu: Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, Band 2. Verlag Chemie, Weinheim 1972. – H. Robel, Sedimentieren im Schwerefeld, u djelu: Lehrbuch der chemischen Verfahrenstechnik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1983. – H. Schubert, Sedimentieren, u djelu: Mechanische Verfahrenstechnik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1985.

Ž. Viličić

**SELEN** (Selenium, Se), kemijski element s atomnim brojem 34 i relativnom atomnom masom 78,96. Nalazi se u VI B skupini periodnog sustava elemenata, između sumpora i telura, te je po svojim kemijskim svojstvima sličan tim

elementima. Prirodni selen predstavlja smjesu šest stabilnih izotopa:  $^{74}\text{Se}$  (0,87%),  $^{76}\text{Se}$  (9,02%),  $^{77}\text{Se}$  (7,58%),  $^{78}\text{Se}$  (23,52%),  $^{80}\text{Se}$  (49,82%) i  $^{82}\text{Se}$  (9,19%). Od 16 radioaktivnih izotopa najvažniji je  $^{75}\text{Se}$  s vremenom poluraspada 121 dan. Elektronska konfiguracija atoma selena jest  $[\text{Ar}] 3d^{10}4s^24p^4$ .

Selen je danas veoma važan kao poluvodički materijal. Poluvodički karakter selena i njegova fotoelektrična svojstva jesu ono na čemu se i danas osniva primjena selena u elektronici. Njegova kemijska svojstva uvjetuju primjenu tog elementa i u drugim granama industrije, kao što su industrija stakla i keramike, industrija boja, čelika itd.

Selen je 1817. godine otkrio J. J. Berzelius u komornom mulju od proizvodnje sulfatne (sumporne) kiseline. Berzelius je i detaljno ispitao kemijska svojstva selena. J. W. Hittorf je 1851. otkrio da se selen javlja u više kristalnih modifikacija, a W. Smith je 1873. otkrio da se električna provodnost selena mijenja pri osvjetljavanju. Selen je praktično 50 godina bio jedini kemijski element koji je služio u uređajima za izravno pretvaranje energije elektromagnetskog zračenja u električnu energiju.

Selen je dobio ime u čast mjeseca (grč. σελήνη selene mjesec).

Prosječni maseni udjel selena u Zemljinoj kori je  $5 \cdot 10^{-6}\%$ . Rijedak je otprilike kao zlato. Najčešće se pojavljuje zajedno sa sumporom, a uz elementarni sumpor može se naći i elementarni selen. I pored rasprostranjenosti selena u Zemljinoj kori, u svijetu nisu poznata veća nalazišta selena. Obično se nalazi uz sulfide teških metala u obliku selenida, koji su izomorfni sa sulfidima. Od 38 poznatih minerala selena najvažniji su selenidi: naumanit  $\text{Ag}_2\text{Se}$ , klaustalit  $\text{PbSe}$ , timanit  $\text{HgSe}$ , bercelijanit  $\text{Cu}_2\text{Se}$ , onofrit  $\text{Hg}(\text{Se},\text{S})$  i drugi. Poznati su i minerali selena koji predstavljaju soli kiselina, kao što je npr. halkomenit  $\text{CuSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Selen se u tragovima javlja u ljudskim i životinjskim kostima, zubima, zatim u mlijeku itd. Na tlu bogatu selenom rastu biljke u kojima je udjel selena veći od granice otrovnosti za ljude i životinje.

## ELEMENTARNI SELEN

**Fizikalna svojstva.** Selen je tamnozute boje sa smeđom nijansom. Poznato je više alotropskih modifikacija selena. Pri sobnoj je temperaturi stabilan heksagonalni sivi selen (tzv. metalni selen), s parametrima rešetke:  $a = 0,435$  nm i  $c = 0,494$  nm, te gustoćom  $4,79$  g/cm<sup>3</sup>. Sastoji se od spiralnih lanaca atoma selena. Iz vodenih otopina izdvaja se amorfni selen crvene boje, koji pri zagrijavanju prelazi u heksagonalnu modifikaciju. U dodiru s otapalima (metilen-jodid, ugljik-di-sulfid) selen stvara dvije monoklinske modifikacije crvene boje, gustoće  $4,48$  g/cm<sup>3</sup> i  $4,40$  g/cm<sup>3</sup>. Kristalna rešetka tih modifikacija, slično kao u sumpora, sastoji se od molekula  $\text{Se}_8$ . U površinskom sloju monoklinske modifikacije otkrivene su još dvije kubične modifikacije selena s parametrima rešetke  $a = 0,5755$  nm i  $0,2970$  nm. Atomni radijus selena iznosi  $1,6 \cdot 10^{-10}$  m, a ionski su radijusi:  $\text{Se}^{2+}$   $1,98 \cdot 10^{-10}$  m,  $\text{Se}^{4+}$   $0,069$  nm,  $\text{Se}^{6+}$   $0,035$  nm.

Temperatura je taljenja heksagonalnog selena  $217^\circ\text{C}$ , a talina pri hlađenju lako stvara staklastu amorfnu modifikaciju. Pri brzom zagrijavanju alfa-oblik se tali pri  $170^\circ\text{C}$ , a beta-oblik pri  $180\text{--}190^\circ\text{C}$ . Temperatura ključanja je  $685 \pm 1^\circ\text{C}$ . Pare selena žučkaste su boje. U parnoj fazi pri temperaturama nižim od  $900^\circ\text{C}$  uspostavlja se ravnoteža  $\text{Se}_8 \rightleftharpoons \text{Se}_6 \rightleftharpoons \text{Se}_4 \rightleftharpoons \text{Se}_2$ . Pri temperaturi  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$  pare selena sastoje se praktično od molekula  $\text{Se}_2$ , koje pri temperaturi  $1350^\circ\text{C}$  počinju disociirati u jednoatomne molekule.

Toplina taljenja selena iznosi  $5,5$  kJ/mol, a toplina isparivanja  $70$  kJ/mol (pri temperaturi ključanja). Termički koeficijent linearnog širenja jest  $4,927 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ , specifični toplinski kapacitet  $0,35 \text{JK}^{-1}\text{g}^{-1}$ , toplinska provodnost  $2,3 \cdot 10^{-1} \text{Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Tvrdća je selena po Mohsovoj skali 2, a po Brinellu  $735 \text{N/mm}^2$ .

Energija ionizacije  $\text{Se}^0 \rightarrow \text{Se}^+ \rightarrow \text{Se}^{2+} \rightarrow \text{Se}^{3+}$  iznosi  $9,75$  eV,  $21,5$  eV, odnosno  $32$  eV. Presjek zahvata termičkih