

Tim se mehanizmom koristi npr. postupak mercerizacije natrijum-hidroksidom (v. *Apretura*, TE 1, str. 316). U novije se vrijeme kao bubrevo uspješno upotrebljava tekući amonijak jer jače kida vodikove veze, lakše prodire u unutrašnjost vlakna i lakše se uklanja, pa omogućuje brže i jednostavnije izvođenje operacija. Fiksacijski efekt mercerizacije može se uspješno povećati naprezanjem za vrijeme ispiranja i povišenjem temperature sušenja. Time se ne samo povećava broj vodikovih veza nego još i poboljšava orijentacija fibrilarne strukture pamuka.

**Postupci kemijskim umrežavanjem.** Stvaranje poprečnih kovalentnih veza među linearnim makromolekulama i fibrilima (kod pamuka) jest proces kojim se celuloznim vlaknima može poboljšati otpornost prema gužvanju i gubitku oblike. Nažalost, time se istovremeno pogoršavaju mehanička svojstva tih materijala kao što su čvrstoća i otpornost prema trošenju. Princip tog fiksiranja sastoji se u impregniranju materijala pretkondenzatom, a kondenzacija se izvodi za vrijeme toplinske obrade. Kemijsko umrežavanje celuloznih materijala može se izvesti i u mokrom i u suhom stanju, pa se govori o mokrom, odnosno suhom fiksiraju celulozni materijala umrežavanjem.

**Mokro fiksiranje umrežavanjem** izvodi se u prisutnosti vode koja izaziva popratno bubrenje celuloznog materijala. Sredstva za umrežavanje su reaktivne smole na bazi karbamida uz prisustvo kiselina kao katalizatora. U novije vrijeme za to se takođe upotrebljavaju i neki sulfoni (npr. bis-hidroksi-etil-sulfon) u lužnatoj kupelji. Fiksacija tim postupcima postiže se stvaranjem poprečnih kovalentnih veza među molekulama celuloze, među fibrilima (u slučaju pamučnog vlakna), ali i stvaranjem vodikovih veza kao kod fiksacije pomoću bubreva. Time se objašnjava okolnost da se takvom obradom ne smanjuje sposobnost upijanja vlage, i što se otpornost prema gužvanju samo djelomično poboljšava.

**Suho fiksiranje umrežavanjem** izvodi se samo povišenjem temperature materijala, koji su prije toga tretirani pretkondenzatima urea-melamin-formaldehidnih ili reaktivnih smola. Iako i u toj fiksaciji sudjeluju vodikove veze (jer je u robi prisutno 6—14% vode), sudjelovanje kovalentnih veza tu je mnogo značajnije, pa se kao proizvodi dobivaju materijali s manjom sposobnošću upijanja vlage i bubrenja. Ako se takva fiksacija provodi uz naprezanje materijala na istezanje, dolazi do smanjenja mogućnosti klizanja strukturnih elemenata jednih po drugima, pa fiksirani materijali imaju manju čvrstoću, istezljivost i savitljivost, ali je njihova moć elastičnog oporavka od deformacije i time otpornost prema gužvanju veća. Sva svojstva »lake njege« tekstila (tzv. »minimum glaćanja«, »neglaćanja« i »lakog održavanja«) posljedice su tih efekata.

Posebni je postupak suhe fiksacije umrežavanjem proizvodnja tzv. »permanent press« odjeće. U tom postupku tkanine se takođe tretiraju sredstvima za umrežavanje i katalizatorima, ali se umrežavanje izvodi tek pošto je oblikovanje odjevnih predmeta završeno. Zbog organizacijskih i tehnoloških teškoća (sredstva za umrežavanje moraju biti stabilna za vrijeme skladištenja tkanina) primjena tog postupka još je ograničena.

**Fiksacija vunenih materijala.** Od početka upotrebe vune kao tekstilnog materijala, toplina i vlaga (u obliku vruće vode i pare) osnovna su sredstva koja se upotrebljavaju za njihovo fiksiranje. Međutim, veoma je teško upotreboom samo topline i vlage fiksirati vunene materijale tako da oni zadrže svoj oblik za vrijeme upotrebe. Posljednjih godina istraživači su predložili niz postupaka fiksacije vunenih materijala obradom kemikalijama i parom koji bi tim materijalima mogli dati trajan oblik. Međutim, niti jedan od tih postupaka nije dao zadovoljavajuće rezultate, bilo zbog toga što je teško ostvariti kontrolu procesa a time i omogućiti reproduciranje, bilo zbog degradacije vlakna, gubitka čvrstoće, lošeg opisa ili štetnog utjecaja na primanje bojila.

Kako pokazuju dosad provedena ispitivanja, mehanizmi fiksacije vunenih vlakana mogu se odvajati ili uz nastajanje novih vodikovih veza (prolazna fiksacija) ili uz kidanje cistinskih veza C—C i stvaranjem novih poprečnih kovalentnih veza (trajna fiksacija).

**Fiksacija sintetskih vlakana.** Danas su mnogi polimeri (npr. poliamidi, poliesteri, poliakrilnitril, polietilen, polipropilen) sirovine za sintetska vlakna (v. *Tekstilna vlakna*; takođe članak *Elektrotehnički materijali*, str. 52).

Iako poliamidi i poliesteri imaju općenito slične karakteristike, svojstva njihovih vlakana razlikuju se u pojedinostima. Poliakrilnitrilna i poliolefinska vlakna znatno se razlikuju po svojim svojstvima. Zato se i mehanizmi fiksacije sintetskih vlakana razlikuju ovisno o tipu polimera od kojega su izrađena.

Fiksacija se svih tih vlakana u principu provodi djelovanjem topline; njome im se mijenjaju svojstva i unutarnji molekularni poredak. Najvažnija promjena molekularnog poretku jest promjena orijentacije lančanih makromolekula u odnosu prema osi vlakna, ali pri tome dolazi i do promjene kristalnosti. Konačno, fiksacijom može doći i do oksidativne, termalne ili kemijske razgradnje polimera. Različite vrste sintetskih vlakana fiksiraju se za vrijeme od 3...30 sekundi na temperaturama od 150...225 °C, ovisno o tome koji je polimer posrijedi i koji je oblik proizvoda (da li je to npr. preda, tkanina ili pletivo). Mechanizam prolazne fiksacije sintetskih vlakana jest kidanje vodikovih veza (npr. između skupina —CO—NH— u poliamidima ili benzenskih prstenova u poliesterima) i nastajanje novih u povoljnijim položajima. Kod trajne fiksacije nastaju promjene u udjelu kristalnosti (općenito se postiže veća kristalnost) i veličini kristalnih područja. Specijalni postupak termofiksacije je teksturiranje prede (v. *Preda*).

LIT.: J. W. S. Hearle, L. W. C. Miles, *The setting of fibres and fabrics* Watford Herts, 1971.

M. Žerdik D. Raffaelli

**FILTRACIJA (filtriranje)**, operacija razdvajanja heterogenih mješavina tekućih (kapljevitih ili plinovitih) i čvrstih tvari pomoću šupljikave pregrade (*filtarskog sredstva*) koja je propusna samo za tekuću komponentu mješavine (*filtrat*). Šupljikava pregrada smještena je u prikladnoj napravi ili aparatu (*filteru*). Čvrste čestice zaustavljaju se na filtarskom sredstvu tvoreći *filtarski kolač* kroz koji tekućina protječe, ili se adsorbiraju na elementima filtarskog sredstva. Protjecanje tekućine kroz filter uzrokovano je razlikom između tlaka ispred i iza filtarskog sredstva (u smjeru protjecanja), a ta razlika može nastati djelovanjem bilo hidrostatskog tlaka tekućine (gravitacijom) ili drugim načinom postignutog pretlaka ispred šupljikave pregrade, bilo podtlaka iza nje, bilo centrifugalnom silom.

U ovom članku obradit će se samo razdvajanje mješavina čvrstih i kapljevitih tvari pri kojem protjecanje tekućine kroz filter uzrokuje bilo hidrostatski tlak, bilo pretlak ili podtlak. Odjeljivanje čvrstih čestica filtracijom iz plina u kojem su suspendirane obrađeno je u članku *Čišćenje plinova*, poglavju *Mehanički filtri za plinove*, TE 3, str. 124, a filtriranje u polju centrifugalne sile u članku *Centrifugiranje*, TE 2, str. 590.

Naziv filtriranje za operaciju odjeljivanja čvrstog od tekućeg i naziv filter za napravu kojom se ovo vrši nalaze se već u djelima Galena iz 2. st. i Paladijuma iz 4. st., a u općoj su upotrebi u 16. st. Riječ »filter« vjerojatno potječe od latinske riječi *filtrum* (feltrum), koja znači pust (*fīlēs*).

Filtracijom se često nazivaju i operacije za koje taj naziv nije u skladu s uvodno navedenom definicijom, npr. kad se za odvajanje čvrstih tvari dispergiranih u plinovima upotrebljava naziv elektrofiltracija (v. *Čišćenje plinova*, TE 3, str. 121).

U usporedbi s drugim načinima odjeljivanja čvrstog od kapljevitog, kao što je npr. sedimentiranje (v. *Sedimentacija i dekantacija*) filtriranje ima ove prednosti: odjeljivanje čvrstih suspendiranih čestica općenito je brže i potpunije; sadržaj vlage kolača je nizak (do ispod 5%); mogu se odvajati vrlo sitne čestice i čestice male gustoće, koje se uslijed male brzine taloženja ne bi mogle odijeljiti sedimentiranjem; filterski aparati zauzimaju manje prostora. Nedostatak je filtriranja u tome što je provedba te operacije razmjerno skupka.

Mogu se razlikovati dva načelno različita načina djelovanja filterskog sredstva i, prema tome, dvije grupe filtracijskih postupaka, nazvane filtriranje kroz kolač i filtriranje kroz filtersko sredstvo. Pri *filtriranju kroz kolač*, čvrste se čestice zaustavljaju na površini filterskog sredstva, nagomilavaju se i stvaraju kolač, kojemu debljina neprestano raste. Pri *filtriranju kroz filtersko sredstvo* ili, kako se još često naziva, dubinskom filtriranju, čvrste se čestice zaustavljaju unutar filterskog sredstva. Ponekad se spominje i filtriranje kroz sito, kod kojeg isključivo veličina otvora filterskog sredstva određuje veličinu čestica koja će se odjeljiti. Dvije su mogućnosti provođenja takve filtracije: prosijavanje relativno krupnih čestica i odjeljivanje vrlo sitnih čestica pomoću membrane veličine otvora između 10 μm i 2 nm, tzv. ultrafiltracijom (v. *Prosijavanje i Ultrafiltracija*).

### FILTRIRANJE KROZ KOLAČ

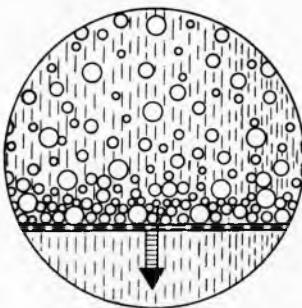
Filtriranje kroz kolač provodi se kad su ili kolač, ili filtrat, ili oboje produkti veće vrijednosti. Kad se suspenzija koju treba razdvojiti nastrujava na filtersko sredstvo, stvara se na ovome kolač, a filtrat protječe iz početka samo kroz filtersko sredstvo a onda i kroz stvoreni kolač. Nastali filterski kolač, kao čvrsta, porozna sredina, pruža otpor protjecanju tekućine. Ako je tijekom operacije sila koja tjeri tekućinu kroz kolač konstantna, količina protekle tekućine, zbog porasta otpora s debljinom kolača, stalno pada, te na kraju protjecanje prestaje. U tom trenutku treba ukloniti kolač (sl. 1).

Moglo bi se очekivati da će se u tom procesu zaustavljati i stvarati filterski kolač samo čvrste čestice veće od promjera pora filterskog sredstva. To bi značilo da će zbog zahvaćanja i najmanjih čestica u polidisperznoj suspenziji biti potrebno koristiti se filterskim sredstvima vrlo malih otvora, što bi, opet, značilo da će otpor strujanju tekućine biti velik, da će se filtersko sredstvo brzo začepiti i da će učin filtracije biti mali. Međutim, praksa pokazuje da je pri filtriranju kroz kolač filtrat čist i kad se upotrebljavaju filterska sredstva kojima je promjer pora veći od promjera najmanjih čvrstih čestica u suspenziji. To je zbog toga što filtersko sredstvo ni u početnoj fazi stvaranja kolača ne djeluje kao prosto sito, nego, zbog »premoštenja« što ih stvaraju unutar njegovih pora manje čestice, zadržava čestice svih veličina, a u kasnijoj fazi služi samo kao mehanički čvrsta podloga na kojoj počiva kolač, a ovaj, kao polidisperzan, tj. koji sadrži čestice različitih veličina, ima uže pore nego filtersko sredstvo.

U početku filtracije, osobito kad je filtersko sredstvo novo, prolazi često kao filtrat mutni »prvotok« (koji obično treba ponovo filtrirati) zbog toga što se još nisu dospjela stvoriti premoštenja u porama filterskog sredstva.

*Učin filtra* (tj. količina suspenzije koja se u jedinici vremena može razdvojiti na jedinici filterske površine) zavisi od karakteristika suspenzije i filterskog sredstva, te od pada tlaka kroz filterski sloj. Suspenziju karakterizira količina i veličina čestica, oblik i površina čestica, struktura materijala čestica, stupanj disperziteta čestica, viskozitet tekuće faze, te gustoća čvrste i tekuće faze. Filtersko sredstvo karakterizira volumen, promjer i oblik pora, te otpor protjecanju. Razlika između tlakova s obje strane filterskog sloja utječe i na brzinu strujanja tekućine u porama, i na brzinu stvaranja kolača, i na stupanj razdvajanja faza. Navedeni faktori koji utječu na učin filtra nisu jedni od drugih nezavisni, nego i među njima postoji interakcija (međudjelovanje), tj. istodobno djelovanje dvaju ili više tih faktora može biti veće ili manje od sume djelovanja pojedinih faktora samih.

Od karakteristika suspenzije koje utječu na učin filtra najznačajniju ulogu imaju one koje određuju propusnost filterskog kolača, tj. količinu određenog filtrata koja uz određene druge uvjete (prirodu filterskog sredstva, temperaturu, tlak itd.) prolazi u jedinici vremena kroz jedinicu površine filtra. Te su karakteristike u prvom redu veličina, oblik, površina (hrapavost), krutost (odn. elastičnost) čestica suspenzije i raspodjela njihove veličine, jer te karakteristike određuju volumen pora kroz koji protječe filtrat, udio tog volumena u volumenu kolača, oblik pora i otpor što ga one suprotstavljaju protjecanju. Veličina čestica ne utječe na udio ukupnog volumena pora u kolaču, jer pore među geometrijski sličnim česticama zauzimaju, ako su ove jednakom raspoređene, isti udio u volumenu kolača. Npr. volumen pora među kuglastim česticama u međusobnom dodiru zauzima 26% ukupnog volumena pri najgušćem pakovanju čestica, a 48% pri najrjedem, bez obzira na veličinu čestica, ali je volumen pojedinih pora među manjim česticama manji nego među većim. Pore u kolaču još su manje (i, prema tome, otpor strujanju veći) ako je suspenzija polidisperzna (sadrži čestice različitih veličina), jer se manje čestice ugraduju u pore stvorene od većih. Hrapavost površine čestica pogoduje stvaranju premoštenja, pri čemu



Sl. 1. Shema filtriranja kroz kolač

je kockast oblik čestica pogodniji nego kuglast. I inače oblik čestica utječe na poroznost kolača; tako dugoljaste i uglaste čestice mogu začepiti pore, a čestice pločasta oblika tvoriti nepropusne slojeve, kroz koje tekućina prolazi teško ili nikako. Elastične i plastične čestice tvore kolač kojemu propusnost jako zavisi od filtracijskog tlaka; pod povišenim tlakom one mogu, deformirajući se, pore i sasvim začepiti, te tako onemogućiti filtraciju.

Za ocjenu uspješnosti filtracije važan je, osim učina, *stupanj potpunosti razdvajanja faza*, koji se obično izražava udjelom zaostale tekućine u težini (masi) mokrog kolača. Uz pretpostavku da po završetku filtracije pore ostaju ispunjene tekućinom, količina će zaostale tekućine biti zavisna od onih istih faktora koji određuju ukupni volumen pora (od polidisperznosti suspenzije, površine, krutosti i oblika čestica). Redovito se po završetku filtriranja (i ispiranja kolača) zaostala tekućina istiskuje mehanički ili protiskivanjem (odn. prosavljanjem) zraka kroz kolač. Pri tome se iz pora istiskuje tekućina to teže što su pore uže (tj. što je propusnost kolača manja). Hrapavost čestica otežava istiskivanje tekućine, te je sadržaj tekućine u kolaču hravavih čestica, i uz dobru propusnost kolača, obično veći nego u kolaču čestica glatkog površina. Uz istu debljinu kolača, tekućina se bolje istiskuje iz kolača dobivenog filtriranjem suspenzije s većim sadržajem čvrstog.

*Utečaj tlaka na učin filtra i na potpunost odvajanja faza.* Kako učin filtra tako i tekućina zaostala u kolaču zavisi od pada tlaka kroz kolač (filtracijskog tlaka). Uz pretpostavku da se pore u kolaču povišenjem tlaka ne suziju (*inkompresibilni, nestlačivi kolač*) i da debljina kolača ostaje konstantna, protok kroz filter prema zakonima hidrauličke raste proporcionalno s tlakom. Kako pri filtraciji debljina kolača raste, pore u kolaču postaju dulje, time otpor protjecanju kroz kolač raste, te u inkompresibilnom kolaču uz konstantni filtracijski tlak brzina protjecanja pada. Da bi se održao konstantan protok kroz kolač, treba filtracijski tlak povišivati. Tome su, dakako, postavljene određene granice. Osim toga, pod visokim tlakom i krute se čestice jače sabijaju, silovito udaraju u prije nakupljene, te ne dolazi više do premoštenja, a već postojeća premoštenja se razaraju. Uslijed toga se daljim povišenjem tlaka ne može održati konstantan protok, već se protok brzo smanjuje, a kod određenog tlaka, koji se naziva *kritičnim tlakom*, protjecanje filtrata naglo prestane. Kolači sastavljeni od elastičnih i plastičnih čestica zbijaju se već kod nižih tlakova (*kompresibilni kolači*), pore se uslijed deformacije čestica suzaju i na kraju sasvim začepe. Kritični je tlak kod kompresibilnih kolača znatno niži nego kod inkompresibilnih. Brzina protjecanja filtrata s povišenjem tlaka iz početka raste, postiže maksimum i onda pada prema nuli.

Dok učin filtra, kako je upravo rečeno, načelno raste s tlakom samo do određenog maksimuma, a onda može i padati, količina tekućine zaostale u kolaču s porastom tlaka monotono opada. Izbor optimalnog filtracijskog tlaka predstavlja, među ostalim, pronaalaženje najpovoljnijeg kompromisa između tlaka koji daje najbolju propusnost kolača (najveći učin filtra) i tlaka koji daje kolač s najmanjom količinom zaostale tekućine. Pri tome se pretpostavlja da konstrukcija filtra omogućava stvaranje što propusnijeg kolača (stvaranje kolača male debljine i što rahlijje strukture, upotreba pomoćnih filterskih sredstava) i zadržavanje što manje količine tekućine u njemu (istiskivanje tekućine mehaničkim zbijanjem, protiskivanjem zraka itd.). Od konstrukcije filtra zavisi i visina filtracijskog tlaka koji se u njemu može postići: u vakuum-filtru najveći filtracijski tlak je teorijski jednak atmosferskom ( $\sim 1$  at), u tlačnim filtrima primjenjuju se filtracijski tlakovi od  $1\cdots 3,5$  at, a ponekad do 35 at, pa i više.

Brzina protjecanja filtrata kroz kolač (pa time i učin filtra) zavisi također od viskoziteta tekućine: što je viskozitet manji, brzina je protjecanja veća. Kako viskozitet kapljevina pada s porastom temperature, i učin filtra je veći kad je temperatura filtriranja suspenzije viša.

**Osnovne zakonitosti filtriranja kroz kolač.** *Inkompresibilni kolač.* Sasvim pojednostavljeni model inkompresibilnog filterskog sloja predstavlja planparalelna ploča od krutog i nepropusnog materijala kroz koju okomito prolaze ravni kapilarni kanali jednolikog kružnog presjeka jednake veličine. Kroz takav »kolač« tekućina struji laminarno. Količina tekućine koja protječe

kroz jedinicu njegove površine u jedinici vremena, prema Hagen-Poiseulleovu zakonu, upravno je proporcionalna broju pora na jedinici površine kolača, površini presjeka (kvadratu promjera) pojedine pore, te padu tlaka kroz kolač, a obrnuto proporcionalna dinamičkom viskozitetu tekućine i duljini pora (ovdje jednakoj debljini kolača):

$$\frac{V}{At} = n \cdot \frac{d_i^2 \pi}{4} \cdot \frac{d^2 \Delta p}{32 \eta l},$$

gdje je  $V$  volumen tekućine protekli u vremenu  $t$ ,  $n$  broj pora na jedinicu površine kolača,  $d$  promjer pore,  $\Delta p$  pad tlaka kroz kolač,  $\eta$  dinamički viskozitet tekućine, a  $l$  debljina kolača. Ako se umjesto broja pora na jedinici površine supstituira porozitet sloja  $\epsilon$ , tj. omjer ukupnog volumena pora prema ukupnom volumenu sloja, koji je omjer u ovom slučaju jednak omjeru između ukupne površine presjeka pora i jedinice površine,  $\epsilon = n \cdot \frac{d^2 \pi}{4} / l$ , dobije se izraz

$$\frac{V}{At} = \epsilon \frac{d^2 \Delta p}{32 \eta l},$$

a ako se uvede konstanta propusnosti  $D_a = \epsilon d^2 / 32$ , Hagen-Poiseulleova jednadžba prelazi u Darcyjevu jednadžbu

$$\frac{V}{At} = D_a \frac{\Delta p}{\eta l}.$$

Darcyjeva jednadžba može se shvatiti kao neki analogon Ohmovu zakonu u elektrici: količina tekućine koja prođe kroz jedinicu površine filterskog sloja u jedinici vremena,  $V/A t$ , jednaka je kvocientu pada tlaka koji tekućinu tijera kroz sloj ( $\Delta p$ ) i otporu koji se protjecanjem tekućine suprotstavlja ( $\eta l/D_a$ ), odnosno umnošku pada tlaka i »vodljivosti« (propusnosti  $D_a/\eta l$ ). Pri tom ukupni otpor sloja  $R_s = \eta l/D_a$  predstavlja umnožak unutarnjeg otpora tekućine (prikazan viskozitetom  $\eta$ ) i otpora filterskog sloja (prikazanog recipročnom vrijednošću propusnosti  $l/D_a$ ).

Darcyjeva jednadžba osim toga što se odnosi na vrlo pojednostavljeni model, ne uzima u obzir da pri filtraciji debljina sloja nije konstantna i da se filterski sloj ne sastoji samo od kolača nego i od filterskog sredstva. Da bi se uzele u obzir promjenljivost debljine (otpora) kolača, jednadžba se piše u diferencijalnom obliku, a prisutnost filterskog sredstva time što se njegov konstantni otpor  $R_m$  pribroji otporu kolača. U Carmanovoj jednadžbi, koja se na taj način dobiva, otpor filterskog kolača nije (kao u Darcyjevoj jednadžbi) prikazan kao funkcija duljine i promjera pora, tj. veličinā koje nisu pristupačne mjerenu, nego s pomoću mjerljivih veličina kao što su: odnos mase čvrstih čestica u kolaču prema volumenu filtrata, sam volumen filtrata i površina filterskog sloja, te jedne eksperimentalno određljive konstante koja se naziva *specifičnim otporom kolača*:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\eta \left( \frac{awV}{A} + R_m \right)}, \quad (1)$$

gdje je  $a$  srednji specifični otpor filterskog kolača (tj. srednji otpor po jedinici mase suhog kolača), a  $w$  omjer mase suhih čestica u kolaču prema volumenu filtrata.

S pomoću Carmanove jednadžbe — po potrebi pogodno modificirane — može se prikazati tok filtriranja u svim praktički važnim slučajevima industrijske filtracije, tj. može se ocijeniti utjecaj promjene pojedinih faktora i parametara na učin filtra. Za filtraciju pod konstantnim tlakom ( $\Delta p = \text{konst.}$ ) dobiva se integracijom te jednadžbe ovaj izraz za volumen filtrata prometnut kroz kolač u periodi filtriranja suspenzije:

$$V = \frac{\eta R_m A + \sqrt{\eta^2 R_m^2 A^2 + 2 \eta A^2 aw \Delta p t}}{\eta aw},$$

a iz toga se izračunava vrijeme potrebno za prometanje određenog volumena filtrata  $V$ :

$$t = \frac{\eta (w V^2 a - 2 A V R_m)}{2 A^2 \Delta p}. \quad (2)$$

Iz volumena filtrata izračunava se masa suhog kolača s pomoću jednadžbe  $W = V w$ . Za filtriranje uz konstantnu brzinu filtracije ( $dV/dt = \dot{V}$ ) integracija jednadžbe (1) daje za volumen filtrata — prometnut u vremenu u kojem pad tlaka, povisivan radi održanja konstantne brzine filtracije  $\dot{V}$ , naraste na konačnu (maksimalnu) vrijednost  $\Delta p_{\max}$  — jednadžbu

$$V = \left( \frac{A \Delta p_{\max}}{\eta \dot{V}} - R_m \right) \frac{A}{aw}, \quad (2a)$$

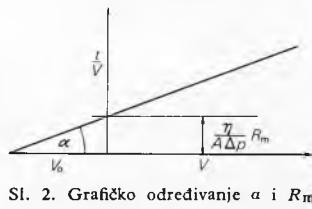
a za to vrijeme — izraz

$$t = \frac{V}{\dot{V}} = \left( \frac{A \Delta p_{\max}}{\eta \dot{V}} - R_m \right) \frac{A}{\dot{V} aw}.$$

Otpor filterskog sredstva i srednji specifični otpor kolača  $a$  mogu se odrediti eksperimentalno. Za tu svrhu povoljno je otpor filterskog sredstva  $R_m$  supstituirati jednako velikim otporom zamišljenom dodatnom ekvivalentnom debljinom kolača, dobivenom zamišljenom filtracijom dodatne količine suspenzije. Budući da se pri mjerenu filtracijskog tlaka u stvari mjeri pad tlaka ne samo kroz filterski kolač i filtersko sredstvo nego i kroz neke dijelove dovodne cijevi za suspenziju i odvodne cijevi za filtrat, otpor  $R_m$  obuhvaća i otpore strujanja u tim dijelovima cijevi. Jednadžba (2) može se preuređiti u ovaj oblik:

$$\frac{t}{V} = \frac{\eta aw}{2 A^2 \Delta p} + \frac{\eta R_m}{A \Delta p}, \quad (3)$$

koji predstavlja uz  $\Delta p = \text{konst.}$  jednadžbu pravca u varijablama  $V$  i  $t/V$  (sl. 2). Ako se, dakle, pri pokusu filtracije pod konstantnim tlakom omjer mjerenog proteklog vremena prema mjerenoj volumenu filtrata naneše kao ordinata nad mjereni volumen filtrata kao apscisu pravokutnog koordinatnog sistema, dobiva se pravac. Iz nagiba tog pravca i odsječka na osi ordinata mogu se izračunati  $a$  i  $R_m$ .



Sl. 2. Grafičko određivanje  $a$  i  $R_m$

Odsječak na osi apscisa u dijagramu sl. 2 predstavlja fiktivni volumen filtrata  $V_0$  koji odgovara fiktivnom povećanju debljine filterskog kolača, izvršenom u fiktivnom vremenu  $-t_0$ , prije početka pokusa, radi povećanja njegova otpora za vrijednost  $R_m$  jednaku otporu filterskog sredstva. Konstanta  $V_0$  može se upotrijebiti umjesto konstante  $R_m$  u Carmanovoj jednadžbi ako se u njoj, umjesto da se otpor  $R_m$  pribroji otporu kolača, pribroji fiktivni volumen  $V_0$  volumenu filtrata. Time ta jednadžba dobiva oblik

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\frac{\eta aw}{A} (V + V_0)}.$$

Za određivanje vrijednosti  $a$  i  $R_m$  iz rezultata pokusa filtracije uz konstantnu brzinu protjecanja filtrata, jedn. (1) transformira se u oblik

$$\Delta p = \frac{\eta aw (dV/dt)}{A^2} V + \frac{\eta (dV/dt) R_m}{A} \quad (4)$$

koji uz  $dV/dt = \text{konst.}$  predstavlja jednadžbu pravca u koordinatama  $\Delta p$  i  $V$ , te se na osnovi nje mogu  $a$  i  $R_m$  grafički odrediti analognog kao u pokusu pod konstantnim tlakom.

U Carmanovoj jednadžbi i iz nje izvedenim jednadžbama prešutno je pretpostavljeno da je volumen filtrata jednak volumenu tekućine koji ulazi u filter s filtriranim suspenzijom, tj. zanemaren je volumen tekućine koji zaostaje u filterskom kolaču. Kad se taj volumen ne može zanemariti, treba u navedene jednadžbe umjesto veličine  $w$  uvrstiti  $w/(1 - w \bar{n})$ , gdje je  $\bar{n}$  volumen tekućine zaostale u jedinici mase suhog kolača. Integracija jednadžbe (1) daje tada

$$V = \frac{A(1-w)\bar{n}[-\eta R_m + \sqrt{\eta^2 R_m^2 + 2\eta aw \Delta p w/(1-w\bar{n})}]}{\eta aw}.$$

Ako se simbolom  $V_u = V/(1-w\bar{n})$  označi volumen tekućine združen u suspenziji s jedinicom težine čvrstog, masa čvrstog kolača nakupljenog na površini  $A$  za vrijeme  $t$  iznosi

$$W = V_u w = \frac{V w}{1 - w \bar{n}}.$$

Ako se u tu jednadžbu uvrsti  $V$  iz prethodne jednadžbe, dobije se

$$W = -\eta R_m A + \sqrt{\eta^2 R_m^2 A^2 + 2A^2 \eta a \Delta p [w/(1-w\bar{n})] t}. \quad (5)$$

**Kompresibilni kolač.** Sve do sada izvedene jednadžbe vrijede za filtraciju kroz idealni inkompresibilni kolač, tj. za filtraciju kroz kolač kojemu je  $a$  nezavisan od tlaka i vremena. Takvog kolača u stvari nema, već su svih filterski kolači u manjoj ili većoj mjeri kompresibilni, tj. specifični im se otpor s vremenom (dakle i s porastom volumena filtrata) mijenja (raste) i različit je kad je pad tlaka kroz kolač različit. Kompresibilnost »praktički inkompresibilnih« kolača može se redovito zanemariti. Kada se kompresibilnost kolača ne može zanemariti, ona se mora u filterskoj jednadžbi uzeti u obzir time što se umjesto konstantnog  $a$  (odn.  $R_m$ ) u jednadžbu uvrsti  $a$  (odn.  $R_m$ ) kao funkcija pada tlaka kroz kolač i volumena filtrata. Pokus pokazuje da se zavisnost specifičnog otpora od pada tlaka može prikazati jednadžbom

$$a = f(\Delta p) = a_0 + a_1 (\Delta p)^n.$$

Otpor filterskog sredstva može se pri filtraciji kroz kompresibilni kolač redovito zanemariti, pa se Carmanova jednadžba može za kompresibilni kolač u prvom približenju pisati

$$\frac{dV}{dt} = \dot{V} = \frac{A^2 \Delta p}{\eta w V [a_0 + a_1 (\Delta p)^n]}. \quad (6)$$

Integracija te diferencijalne jednadžbe od  $t = 0$  do  $t = t$  s rubnim uvjetom da je u vrijeme  $t = 0$  i  $V = 0$ , daje

$$v_1 = \sqrt{\frac{2A^2 t_1 \Delta p}{\eta w [a_0 + a_1 (\Delta p)^n]}}.$$

Diferencira li se ta jednadžba po  $\Delta p$  i postavi  $dV/d(\Delta p) = 0$ , pa se tako dobivena jednadžba rješi za  $\Delta p$ , dobije se

$$\Delta p_{opt} = \left( \frac{a_0}{a_1 (n-1)} \right)^{1/n}. \quad (7)$$

Iz ove se jednadžbe može odrediti optimalni pad tlaka kroz kompresibilni kolač, pri kojem je padu tlaka protok filtrata maksimalan.

Jedn. (7) pretpostavlja da je srednji specifični otpor funkcija tlaka koji pritiše kolač, a ne i vremena. Iako to nije tako, ona je sasvim dobra aproksimacija, jer se redovito dobro slaže s eksperimentalnim rezultatima. Egzaktnija filterska jednadžba uzima u obzir da je kolač pod pritiskom ukupnog pada tlaka kroz nj samo na površini okrenutoj suspenziji, a u unutrašnjosti pritisak na kolač (lokalni tlak) opada do nule na strani filterskog sredstva. S tlakom  $p_s$  mijenja se duž debljine kolača i (*lokalni*) specifični otpor  $a_L$ . Srednji je specifični otpor kolača (s kojim smo dosad računali) jednak

$$a = \int_0^{\Delta p} \frac{dp_s}{a_L},$$

gdje je  $\Delta p$  pad tlaka kroz kolač. Budući da se s povećanjem debljine kolača i uz konstantni pad tlaka  $\Delta p$  mijenjaju lokalni pritisci i lokalni specifični otpori, srednji je specifični otpor ovisan i o vremenu, odnosno zbog  $t = V/\dot{V}$ , o količini filtrata  $V$  i brzini njegova protjecanja  $\dot{V} = dV/dt$ . Ako se osim toga uzme u obzir tekućina zaostala u kolaču, dobiva se jednadžba

$$V \frac{dV}{dt} = \frac{(1-w\bar{n}) A^2}{w\eta} \int_0^{\Delta p} \frac{dp_s}{a_L}. \quad (8)$$

Ako se nađe zavisnost između  $V$  i  $t$ , mogu se izračunati  $dV/dt$  i  $a$  potrebni za upotrebu te jednadžbe.

Eksperimenti pokazuju da se zavisnost  $V, t$  može prikazati parabolnim krivuljama što ih opisuje jednadžba

$$V + C = K t^a, \quad (9)$$

u kojoj su  $C$  i  $K$  proizvoljne konstante. (U dvostruko logaritamskoj anamorfizi ta je krivulja prikazana pravcem s nagibom  $a$ .) Jednadžba (9) diferencirana daje

$$\frac{dV}{dt} = a K t^{(a-1)}, \quad (10)$$

a uvrstivši za  $K t^{(a-1)}$  u toj jednadžbi  $K t^a/t = (V+C)/t$  iz jedn. (9) dobiva se konačno,

$$\frac{dV}{dt} = \frac{a(V+C)}{t}.$$

Sad se može izračunati integral

$$a = \int_0^{\Delta p} \frac{dp_s}{a_L} = V \frac{dV}{dt} \frac{w}{(1-w\bar{n}) A^2}.$$

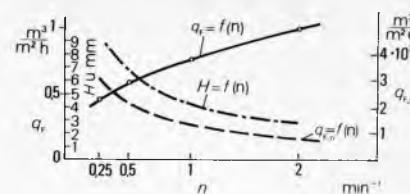
Budući da su sad poznate ili izračunate s pomoću empirijske jednadžbe (9) sve veličine u jedn. (8), može se ta jednadžba rješiti.

**Neki za praksu važni zaključci iz filterske jednadžbe.** Ako se pri razmatranju filtracije kroz inkompresibilni kolač ostavi po strani utjecaj filterskog sredstva, Carmanova se jednadžba (1) može pisati

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta p}{\eta a w V}.$$

Vidi se da je brzina protjecanja tekućine kroz filterski kolač upravno razmjerna kvadratu filterske površine i padu tlaka kroz kolač, a obrnuto razmjerna dinamičkom viskozitetu tekućine, ukupnoj količini kolača i njegovom specifičnom otporu. U jedn. (6) za kompresibilni kolač pad tlaka kroz kolač nalazi se i u nazivniku, pa brzina protjecanja kroz kompresibilni kolač raste s porastom tlaka manje nego proporcionalno, a može od pada tlaka kroz kolač biti i nezavisna.

Budući da je brzina protjecanja tekućine kroz kolač, prema filterskim jednadžbama, obrnuto razmjerna masi suhog kolača (koja je razmjerna umnošku površine i debljine kolača), a upravno razmjerna kvadratu površine, slijedi da je učin filtra ( $1/A$ ) ( $dV/dt$ ) obrnuto razmjerni kvadratu debljine kolača na kraju filtriranja. Iz toga se zaključuje da je učin filtra u periodi filtriranja to veći što je manja debljina kolača koji se skida. Međutim, pri izboru debljine kolača treba imati u vidu da o ekonomičnosti operacije (cijelog ciklusa filtracije) ne odlučuje samo učin perioda samog filtriranja, nego također učin, odn. trajanje, ostalih perioda ciklusa (v. slijedeći odsjek) i veličina investicijskih i pogonskih troškova.



Sl. 3. Pogonske vrijednosti kontinuiranog rotiraćeg filtra

Tako se tanji kolač mora (uz jednaku filtersku površinu) za isti opseg proizvodnje češće skidati, što produljuje »jalovo vrijeme« ciklusa (vrijeme kad se ne filtrira) i povećava pogonske troškove; da bi se postiglo jednakoj jalovo vrijeme kao s debljim kolačom, trebalo bi povećati filtersku površinu, što povisuje troškove investicije. U daljem izlaganju ovog članka općenito će se razmotriti pitanje izbora filtra i načina njegova rada s gledišta ekonomičnosti; u pogledu izbora debljine kolača neka bude već ovdje rečeno da će po pravilu optimalna debljina kolača biti to veća što je veći otpor filterskog sredstva i što je dulje jalovo vrijeme ciklusa filtracije.

Treba li filtersku jednadžbu (5) primijeniti na kontinuirani rotiraći filter (v. narednu glavu ovog članka), mora se za filtersku površinu  $A$  i vrijeme filtracije  $t$  uvesti u nju veličine koje u tom pogledu karakteriziraju takav filter, npr. zaronjenu površinu (kroz koju se filtrira) i broj okretaja bubenja. Tako se npr. za filterski bubanj dobivaju jednadžbe

$$\dot{V} = n A (1-w\bar{n}) \left[ \frac{-\eta R_m}{a \eta w} + \frac{\sqrt{\eta^2 R_m^2 + 2\eta a \Delta p \cdot w/(1-w\bar{n}) (\Phi/n)}}{a \eta w} \right]. \quad (11a)$$

$$\dot{W} = n \left( A \frac{-\eta R_m + \sqrt{\eta^2 R_m^2 + 2\eta a \Delta p \cdot w/(1-w\bar{n}) (\Phi/n)}}{a \eta} \right). \quad (11b)$$

## FILTRACIJA

Dijagram na sl. 3 prikazuje zavisnost volumena filtrata po satu i jedinici filterske površine ( $q_F$ ), deblijinu kolača  $H$  i volumen filtrata po jedinici površine i okretaju ( $q_{F,n}$ ) od broja okretaja ( $n$ ) bubnja, nacrtane na osnovi jedn. (11a) i pogonskih mjerjenja na nekom određenom bubenjastom filteru. Iz tih se krivulja razabire da su dobiveni volumeni filtrata po okretaju bubnja i postignuta debljina kolača najveći kad je broj okretaja bubnja mali, ali da je srednji učin filtra maksimalan kad je broj okretaja najveći. Prema tome, nije uvijek pravilno raditi s malim brojem okretaja (malo radnih ciklusa u jedinici vremena) i velikom deblijinom kolača, nego je pravilnije raditi s većim brojem okretaja i malom deblijinom kolača.

**Ispiranje filterskog kolača.** Ispiranje kolača jedan je od značajnijih stupnjeva filtracijskog ciklusa. Pravilo je da do čistih odvojenih komponenti treba doći sa što manje sredstva za ispiranje. Ispiranje se sastoji od dva dijela: istiskivanje zaostale tekućine iz pora kolača tekućinom za ispiranje i otapanja zaostalog filtrata u tekućini za ispiranje, pri čemu preostala (adsorbirana) tekućina difundira u tekućinu za ispiranje. Ukoliko se ispiranje nastavlja na filtriranje, strujanje tekućine za ispiranje određeno je zakonima strujanja kroz poroznu sredinu, kako je naprijed prikazano za filtrat. Dulje vrijeme ispiranja uzrokuje sabijanje kolača tako da se otpor strujanju mijenja. Pukotine u sloju one moguće ispiranje, jer tekućina struji kroz nastale kanale u kojima je otpor protjecanju manji. Stoga treba kanale naplaviti ili kolač prije ispiranja sabiti. Otapanje zaostalog filtrata u tekućini za ispiranje pokorava se zakonitostima difuzije, po kojima količina izmijenjene tvari ovisi prvenstveno o razlici koncentracija. Stupanj ispiranja ovisi eksponencijalno o vremenu, odnosno količini tekućine za ispiranje. Optimalni uvjeti ispiranja još se ispituju, te je teško odgovoriti na pitanje, što je povoljnije: pranje uz visoko opterećenje kroz kraće vrijeme, ili ispiranje manjim količinama tekućine kroz dulje vrijeme.

**Optimalni uvjeti rada diskontinuiranih filterskih uređaja.** Radni ciklus diskontinuiranog filtra sastoji se kako je već navedeno, od periode filtriranja, periode odvodnjavanja, periode eventualnog ispiranja te periode uklanjanja kolača i čišćenja ili obnavljanja filterskog sredstva. Mnogi filterski aparati, npr. filter-preša, moraju se rastavljati radi uklanjanja kolača i čišćenje filterskog sredstva, te zatvarati nakon što su pripravljeni za slijedeći ciklus. Vrijeme unutar kojeg se odvija filtriranje, ispiranje i odvodnjavanje može se nazvati *radnim vremenom* (radnom periodom) unutar ciklusa filtracije, a ostalo vrijeme unutar ciklusa, tj. vrijeme otvaranja ili rastavljanja filtra, uklanjanja kolača te čišćenja ili mijenjanja filterskog sredstva, *jalovim vremenom* (jalovom periodom). Poželjno je, dakako, da jalovo vrijeme bude u odnosu prema radnom vremenu što kraće. To se postiže konstrukcijom filtra koja omogućava brzo uklanjanje kolača te čišćenje filterskog sredstva uz što manju upotrebu radne snage, ali i time da se te radnje izvršavaju rjeđe, tj. da se pusti da kolač naraste do veće deblijine. Međutim, deblij kolač znači veći otpor prolazu tekućine, a time i smanjenje učina filtra. Postoji stoga neka optimalna deblijina kolača, a time i optimalna duljina perioda filtriranja, ispiranja i odvodnjavanja u odnosu prema trajanju cijelog ciklusa filtracije, kad dalje smanjenje jalovog vremena, zbog povećanja otpora filterskog kolača, ne povećava ukupni učin cijelog filterskog ciklusa, nego ga smanjuje. Optimalni odnos vremena same filtracije prema ukupnom trajanju ciklusa, odn. prema jalovom vremenu, može se odrediti pomoću Carmanove jednadžbe (1). U nastavku bit će opisan postupak tog određivanja odvojeno za filtraciju pod konstantnim tlakom i filtraciju uz konstantnu brzinu protjecanja filtrata.

**Filtracija pod konstantnim tlakom.** Označi li se sa  $V$  volumen filtrata dobiven u jednom ciklusu filtracije, sa  $t$  trajanje radnog perioda ciklusa, a sa  $t_0$  trajanje jalovog perioda, onda je prosječni volumen filtrata dobiven u jedinici vremena za vrijeme jednog ciklusa jednak  $V/(t + t_0)$ , a s jednadžbom (2)

$$\frac{V}{t + t_0} = \frac{2A^2 \Delta p V}{\eta a w V^2 + 2 A R_m \eta V + 2 t_0 A^2 \Delta p}.$$

Diferenciranjem prethodnog izraza po  $V$  i izjednačavanjem diferencijalnog kvocijenta s nulom dobiva se maksimalni prosječni volumen filtrata dobiven u jednom ciklusu u ovisnosti o dužini mrvog vremena:

$$\frac{d \frac{V}{t}}{dV} = \frac{2 A^2 \Delta p (2 A^2 \Delta p t_0 - \eta a w V^2)}{(\eta a w V^2 + 2 A^2 \Delta p t_0 + 2 \eta R_m V A)^2}. \quad (12)$$

Budući da u izrazu (12) nazivnik nije beskonačan i  $2 A^2 \Delta p$  nije jednak nuli, slijedi da jednadžba ekstremne vrijednosti glasi:

$$2 A^2 \Delta p t_0 - \eta a w V^2 = 0, \quad (13)$$

a iz toga:

$$V = \sqrt{\frac{2 A^2 \Delta p t_0}{\eta a w}}. \quad (14)$$

To uvršteno u jedn. (2) daje

$$t = t_0 + R_m \sqrt{\frac{2 t_0 \eta}{\eta a w \Delta p}}.$$

Kad je otpor filterskog sredstva zanemarljivo mali,  $R_m = 0$  i  $t = t_0$ , što znači da se najveći srednji protok postiže kroz filter kad je radna perioda filtriranja jednaka jalovom vremenu.

**Filtracija uz konstantnu brzinu protjecanja filtrata.** Budući da je  $V = \frac{dV}{dt} t = \dot{V} t$  ( $\dot{V} = \text{konst.}$ ), vrijedi za prosječni volumen u jedinici vremena dobiven za vrijeme jednog ciklusa jednadžba

$$\frac{V}{t + t_0} = \frac{V}{\frac{\dot{V}}{\dot{V}} + t_0} = \frac{V}{\frac{V}{t_0} + t_0}.$$

Zamijeni li se  $V$  u toj jednadžbi izrazom (2a), dobije se za prosječni volumen u jedinici vremena

$$\frac{V}{t + t_0} = \frac{A^2 \Delta p_{\max} \dot{V} - R_m A \dot{V}^2 \eta}{A^2 \Delta p_{\max} - R_m A \eta \dot{V} + t_0 \eta a w \dot{V}^2}.$$

Diferenciranjem te jednadžbe po  $\dot{V}$  i izjednačavanjem diferencijalnog kvocijenta sa nulom dobiva se konačno

$$\dot{V} = \frac{A \Delta p_{\max}}{R_m \pm \sqrt{t_0 \eta a w \Delta p_{\max}}}.$$

Supstitucijom te jednadžbe u jedn. (2a) dobiva se

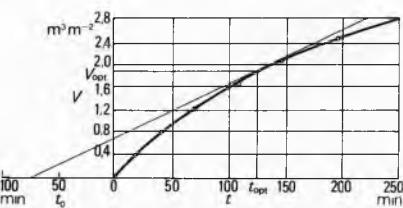
$$V = \sqrt{\frac{A^2 t_0 \Delta p_{\max}}{\eta a w}},$$

a dijeljenjem te jednadžbe s prethodnom (zbog  $t = V/\dot{V}$ ) optimalno trajanje radnog perioda filtracije u zavisnosti od jalovog vremena:

$$t = t_0 + R_m \sqrt{\frac{t_0 \eta}{\eta a w \Delta p_{\max}}}.$$

Kad je otpor filterskog sredstva u usporedbi s otporom kolača zanemarljivo mali,  $R_m = 0$ , dobiva se  $t = t_0$ , tj. i u ovom slučaju optimalno je trajanje radnog perioda filtracije jednakoj trajanju jalovog vremena.

Kod konstruiranja filtra za diskontinuiranu filtraciju ne treba, dakle, predvidjeti veću deblijinu kolača nego što je ima kolač koji se nakuplja u toku vremena otprilike jednakog jalovom vremenu.



Sl. 4. Grafičko određivanje optimalnog vremena rada diskontinuiranog filterskog uređaja

Ako se filtracija ne provodi ni uz  $\Delta p = \text{konst.}$  ni uz  $dV/dt = \text{konst.}$ , zavisnost između trajanja radne periode filtriranja i jalovog vremena ne može se analitički odrediti, ali se može odrediti grafički s pomoću dijagrama  $V = f(t)$ . Povuče li se iz točke  $t_0$  tangenta na krivulju  $V = f(t)$ , bit će apsisa dirališta jednaka optimalnom trajanju perioda filtriranja  $t_{opt}$  (sl. 4).

**Eksperimentalno određivanje parametara filtracije kroz kolač.** Specifični otpor kolača i ekvivalentni otpor filterskog sredstva, pa debljina kolača kao funkcija vremena i pada tlaka kroz kolač, poroznost kolača kao funkcija pada tlaka i volumen filtrata kao funkcija vremena i pada tlaka, parametri su svojstveni određenoj suspenziji koja se filtrira i određuju se eksperimentalno na osnovi mjerjenja na poluindustrijskim ili laboratorijskim uređajima. Poluindustrijski uređaji po pravilu su geometrijski i hidrodinamički slični industrijskim uređajima na koje dobiveni rezultati treba da budu prenošeni, laboratorijskim puskama se obično samo simulira stvaranje, ispiranje i odvodnjavanje kolača. Dobiveni rezultati su to bolji što je uzorak suspenzije kojim se pusti izvode reprezentativniji, ali i pod najidealnijim uvjetima greške mjerjenja su  $10\cdots 25\%$ . Mjerjenja obavljena na komercijalnim uređajima u industrijskom mjerilu, koji redovito nemaju onoliku instrumentaciju kao poluindustrijski i laboratorijski, malo su pouzdani, pa stoga proizvođači opreme za filtriranje ne mogu garantirati da će dobavljeni uređaj pokazivati iste karakteristike kao prototip.

Specifični otpor kolača i ekvivalentni otpor filterskog sredstva određuju se, kako je navedeno na str. 418, na osnovi određivanja zavisnosti  $t/V = f(V)$ , odn.  $\Delta p = f(V)$ . Pri tome se to određivanje za slučaj filtracije uz konstantnu brzinu protjecanja filtrata izvodi rjede nego za slučaj filtracije uz konstantni tlak, jer zahtijeva posebne uređaje kojima se uvijek ne raspolaže.

Laboratorijski testovi češći su od poluindustrijskih, jer su relativno jednostavniji, jednakno kao i oprema za njihovo izvođenje koja se kupuje, iznajmljuje ili posudiće od najvećih proizvođača. Najpoznatiji je uređaj (ručna) *filterska pločica*, a provedba tih mjerjenja obično se naziva vakuum-test. Primjenjuje se za predviđanje performansa rotirajućih filtera (filterskih bubenjeva i disk-filtara), a provodi se simuliranjem svih predvidenih stupnjeva pojedinog filtracijskog ciklusa. Filterska pločica, koja je četvrtastog ili kružnog oblika i površine  $100\cdots 200 \text{ cm}^2$  (sl. 5), uranja se u blago miješanu suspenziju koju treba profiltrirati. Pločica, preko koje je navučeno filtersko sredstvo, prethodno je spojena s prostorom pod sniženim tlakom. Nakon vremena određenog za stvaranje kolača, pločica se vadi iz suspenzije i onda se kroz neko vrijeme kolač odvodnjava. Zatim se filterska pločica uranja u vodu (ili pogodnu otopinu) radi ispiranja kolača, te kolač ponovo odvodnjava. Skidanje kolača provodi se pri pokusu kao na predviđenom industrijskom uređaju: prekidanjem spoja s prostorom pod sniženim tlakom i/ili propuhivanjem zraka. Nakon preliminarnih pokusa kojima se određuju vremena potrebna za provođenje pojedinih stupnjeva filterskog ciklusa, pažljivo se mijere volumen filtrata, debljina i jednolikost kolača, masa stvorenog kolača (suhog i mokrog), te sniženi tlak. Uvijek moraju biti poznate koncentracija i temperatura suspenzije. Druga su važna opažanja: brzina i uspješnost ispiranja, ponašanje kod odvodnjavanja, mogućnost i vrijeme pucanja kolača, te uvjeti skidanja kolača.

Performanse vodoravnih kontinuiranih vakuum-filtara određuju se na sličnom uređaju, samo što se umjesto pločice upotrebljava laboratorijska nuča, tzv. Büchnerov lijevak. (Neki smatraju da taj postupak treba izbjegavati, osim u slučaju kvalitativne kontrole nastajanja kolača).

Tlačnim testovima određuju se performanse tlačnih, prvenstveno pločastih filtera. Pločica ( $5 \times 5 \text{ cm}$ ) uranja se u tlačnu posudu (bombu) napunjenu suspenzijom koja se ispituje. Obično se izvodi nekoliko brzih uzastopnih mjerjenja pod istim tlakom. Bilježi se volumen filtrata, vrijeme i masa kolača.

Za ispitivanje kompresibilnih kolača i za ispitivanje utjecaja tlaka na porozitet i na propusnost kolača upotrebljava se C-P-ćelija (compression-permeability cell). Uredaj se sastoji od cilindra s poroznim dnom. Propuštanjem suspenzije kroz ćeliju stvara se na poroznom dnu kolač. U cilindar se upušta klip koji ima također porozno dno. Klip se postepeno opterećuje i istovremeno se mjeri poroznost. Za cijelo vrijeme mjerjenja tekućina struji kroz kolač uslijed blagog hidrostatskog tlaka.

**Provedba filtracije kroz kolač** načelno se razlikuje prema tome da li se filtriranje provodi pod hidrostatskim tlakom, pod vakuumom ili pod povišenim tlakom.

Kod filtriranja pod hidrostatskim tlakom (gravitacijskog filtriranja) protjecanje tekućine kroz filterski kolač i filtersko sredstvo uzrokuje hidrostatski tlak stupca suspenzije. Uredaji za takvo filtriranje upotrebljavaju se za razdvajanje suspenzija u kojima su dispergirane krupne čestice, koje stvaraju kolače velikog poroziteta. Zbog jednostavnosti uređaja taj je postupak najekonomičniji postupak filtriranja.

Filtriranje uz vakuum (vakum-filtriranje) provodi se uređajima u kojima je ispod filterske pregrade stvoren podtlak. Dotok suspenzije, stvaranje kolača, eventualno ispiranje i odvodnjavanje lako se provode pod atmosferskim tlakom.

Kod filtriranja pod tlakom (tlačnog filtriranja) suspenzija se pogodnom pumpom dovodi na željeni tlak i uvodi u filter, koji je izveden kao zatvorena, nepropusna posuda. Dvije su tehničke izvedbe tlačnih filtera: a) Elementi filtera s filterskim sredstvom ugrađeni su u neprodušnom kućištu. Po završetku filtriranja zaostala se suspenzija istaće, tlak izjednači, kućište otvara, a kolač uklanja posebnom napravom ili mlazom tekućine. Eventualno ispiranje iziskuje potpuno istakanje suspenzije prije upuštanja tekućine za ispiranje. Iz toga slijedi da je ta vrsta filtera ekonomična kad jedan filtracijski ciklus traje dulje vrijeme, tj. kad se filtriraju suspenzije malih koncentracija. — b) Filter se sastoji od niza komora koje se nakon filtriranja rastavljaju jedna od druge. U tom je slučaju ispiranje bolje i jednostavnije, jednakno kao i odvodnjavanje. Takvi filteri služe za filtriranje koncentriranih suspenzija.

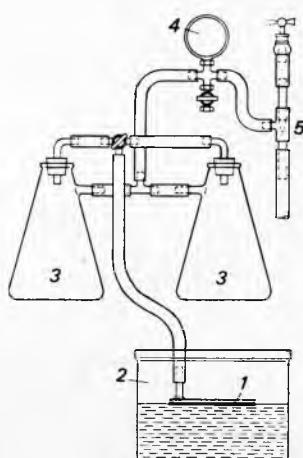
Filtracija pod tlakom primjenjuje se kad se kod vakuumskog filtriranja javljaju poteškoće. Velika razlika tlakova uzrokuje sabijanje kolača. Da bi se izbjeglo prerno začepljivanje pora filtra, preporuča se tlak dizati postepeno do željene razine. Stoga se, u stvari, redovito kombinira filtriranje uz konstantnu brzinu s filtriranjem uz konstantan tlak: polazeći od pogodnog nižeg tlaka, tlak se postupno poviše do optimalne visine, maksimuma tlaka iza kojeg bi daljim povišivanjem tlaka brzina filtracije opadala, i pod tim tlakom se filtracija izvodi do kraja.

#### FILTRIRANJE KROZ FILTARSKO SREDSTVO

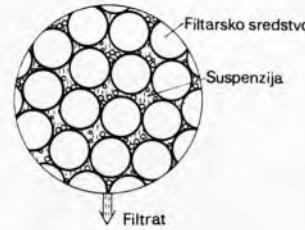
Cilj je filtriranja kroz filtersko sredstvo dobivanje čistog filtrata, a ne i čiste čvrste tvari, kao što je to kod filtriranja kroz filterski kolač. Kod ovog tipa filtriranja čvrste se čestice pretežno

nakupljaju (adsorbiraju) na elementima filtra (zrncima pijeska, vlakancima) mimo koje tekućina protječe, ili u kapilarama kroz koje struji (sl. 6). Odjeljivane čestice moraju biti tako male da mogu prodrijeti u pore i kapilare filterskog sredstva. Radi povećanja stupnja odjeljivanja u takvim filterima, sloj filterskog sredstva relativno je debeo. Nakon određenog vremena filtriranja djelovanje filtra opada, jer odloženi materijal sprečava adsorp-

ciju na površinu elementa filterskog sredstva, te se filtersko sredstvo mora ispirati. Prema tome, dubinski su filtri uvijek diskontinuirani. Filtracijski ciklus sastoji se samo od periode filtriranja i periode čišćenja filtra. Veličina je čestica pojedinih elemenata nasutog sloja između  $0,5$  i  $1 \text{ mm}$ . Radi jednostavnijeg čišćenja sve čestice treba, po mogućnosti, da budu iste veličine. Sloj se, naime, čisti prostrujavanjem tekućine za čišćenje u smjeru suprotnom smjeru strujanja filtrata, pa bi se kod slojeva različite raspodjele veličine čestica dogodilo da sloj nema jednoobraznu strukturu.



Sl. 5. Uredaj za određivanje parametara filtracije kroz kolač. 1 Ručna filterska pločica, 2 spremnik za suspenziju, 3 predložci, 4 manometar, 5 pumpa na vodenim mlazom



Sl. 6. Shema filtriranja kroz filtersko sredstvo

Perioda filtriranja može se produžiti u odnosu prema periodi ispiranja time što se poveća debljina filterskog sloja. Ekonomski je dubinska filtracija opravdana za filtriranje suspenzija niskih koncentracija (do 0,1%). Veći udjeli čvrstog u suspenziji mogu uzrokovati začepljenje uskih pora i međuprostora, što dovodi do većeg gubitka tlaka i duljih perioda pročišćavanja, a to, jasno, smanjuje učin filtra. Osim toga, koncentriranje suspenzije sklene su stvaranju premoštenja, koja su kod ovog tipa filtriranja nepoželjna.

**Osnovne zakonitosti filtriranja kroz filtersko sredstvo.** Strujanje čiste tekućine kroz relativno debelo sloj filterskog sredstva, kakav se upotrebljava pri dubinskom filtriranju, može se opisati poznatim izrazima koja prikazuju strujanje tekućina kroz poroznu sredinu. Pri dubinskoj filtraciji tekućina nosi sa sobom čvrste čestice koje se odlazu u unutrašnjosti sloja filterskog sredstva, pa se time načelno mora povećati otpor strujanju i (uz konstantan tlak) smanjivati brzina protjecanja tekućine. Međutim, kad se dubinska filtracija upotrebljava za bistrenje razrijedjenih suspenzija u kojima su dispergirane čestice vrlo sitne, brzina se filtriranja ne mijenja kroz dulje vrijeme, a najkasnije kad ona počinje opadati, filtriranje se prekida i počinje perioda ispiranja filterskog sredstva. Izračunavanje brzine filtracije kroz sloj određene debljine ne predstavlja, dakle, problem, nego se od teorije traži da pruži podloge za izračunavanje učina odvajanja čvrstih čestica od tekućine u zavisnosti od debljine filterskog sloja i vremena.

Uz pretpostavku da se čvrste čestice na zidovima pora filterskog sredstva vežu adsorpcijom, može se za promjenu koncentracije suspenzije s porastom debljine porognog sloja napisati diferencijalna jednadžba analoga jednadžbama kojima se opisuje adsorpcija:

$$-\frac{dc'}{dx} = c' \lambda, \quad (15)$$

u kojoj je  $c'$  koncentracija čvrstog u suspenziji,  $x$  debljina sloja, a  $\lambda$  jedan filtracijski koeficijent koji određuje sposobnost odvajanja čvrste od tekuće faze. O utjecaju pojedinih faktora na koeficijent  $\lambda$  danas se ništa egzaktno ne može reći, iako su mogli biti utvrđeni neki geometrijski, hidrodinamički i električki utjecaji. Uz pretpostavku da  $\lambda$  zavisi od količine odloženih čestica, koja se količina izražava specifičnom veličinom  $\sigma$ , i s ozнакom  $\epsilon_0$  za poroznost svježeg filterskog sredstva, može se napisati jednadžba

$$\lambda = K(\epsilon_0 - \sigma) \quad (16)$$

u kojoj je  $K$  koeficijent skupljeno djelovanje svih adsorpcijskih sila kao što su van der Waalsove i elektrokinetičke (u njemu, dakle, mogu biti sadržana i neka svojstva tekućine).

Iz jedn. (15) slijedi omjer između volumetrijske koncentracije suspenzije u dubini  $x$  filtra i koncentracije suspenzije prije filtracije:

$$\frac{c'}{c'_0} = e^{-\lambda x}. \quad (17)$$

Iz jedn. (16) i (15), i uvezvi u obzir da je za iole deblji sloj  $e^{K\epsilon_0 x} \gg 1$ , dobiva se za dubinu  $x$ , u kojoj je koncentracija filtrata jednaka  $C$ , izraz

$$x = \frac{u_{FO}/\varrho}{\epsilon_0} - C_0 t + \frac{1}{K \epsilon_0} - \ln \left( \frac{C_0}{C} - 1 \right),$$

u kojemu  $u_{FO}$  znači brzinu pritjecanja suspenzije filtru,  $C_0$  koncentraciju suspenzije koja priteče filtru,  $\varrho$  gustoću čvrste faze u suspenziji.

Vrijeme filtriranja  $t_1$ , nakon kojeg koncentracija čvrstog u filtratu pri filtriranju kroz filtracijski sloj debljine s postiže vrijednost  $C_1$  (npr., vrijednost pri kojoj filtriranje treba prekinuti), iznosi

$$t_1 = \frac{\varrho'}{u_{FO} C_0 K} \ln \left( \frac{e^{K\epsilon_0 s} - 1}{C_1} \right). \quad (18)$$

Budući da koeficijent  $K$  sadrži i djelovanje adsorpcijskih sila, on mora biti i funkcija specifične površine čestica koje tvore fil-

tracijsko sredstvo, a kako je specifična površina tih čestica obrnuto razmjerna njihovom promjeru, može se iz jedn. (18) zaključiti da vrijeme filtracije opada s promjerom čestica filterskog sredstva.

Uzevši u obzir geometrijske i hidrodinamičke utjecaje na koeficijent  $\lambda$ , izведен je za nj empirijski izraz

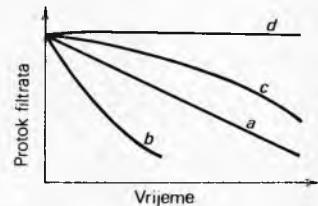
$$\lambda = \text{konst.} \frac{\eta^{1,4} d_T^{0,3}}{d_M^{1,4} u_{FO}^{4,0}},$$

u kojem  $d_M$  znači promjer čestica filterskog sredstva,  $d_T$  promjer čestica u suspenziji,  $\eta$  dinamički viskozitet tekućine.

Iz navedene teorije mogu se izvesti ovi zaključci, korisni pri projektiranju i dimenzioniranju uređaja za dubinsku filtraciju: stupanj odvajanja čvrstih čestica iz suspenzije raste s povećanjem čestica u suspenziji, sa smanjenjem brzine pritjecanja suspenzije filtru i promjera čestica filterskog sredstva te sa povišenjem temperature (kojim se smanjuje viskozitet tekućine).

**Provjeda filtracije kroz filtersko sredstvo.** Dubinski filtri mogu raditi kao tlačni, vakuumski filtri i gravitacijski filtri. Ovi se posljednjim upotrebljavaju najviše. Suspenziju treba uvijek puštati na filter tako da se ona što jednoličnije raspodjeli. Kod filtriranja se obično javljaju četiri slučaja (sl. 7).

- 1) Ako su čestice koje treba odijeliti veće od pora filterskog sredstva, odvajaju se na površini i tamo stvaraju, kao i kod filtriranja kroz kolač, sloj čija debljina stalno raste. Količina tekućine koja prolazi kroz filter linearno opada s vremenom (krivulja  $a$ ).



Sl. 7. Ovisnost protoka filtrata o vremenu za različite veličine čestica

- 2) Suspenzija kojoj je samo dio čestica veći od pora filterskog sredstva, a osim toga su te čestice pahuljaste ili ljepljive, brzo će začepiti filtersko sredstvo, tako da će prolaz filtrata naglo pasti i konačno stati (krivulja  $b$ ).

- 3) Ako u filterski sloj prodiru čestice koje se talože po njegovoj unutrašnjoj površini, te dolazi do suženja pora i kapilara, protok kroz sloj brzo opada nakon određenog vremena. To je najčešći slučaj dubinskog filtriranja (krivulja  $c$ ).

- 4) Ako su čestice suspenzije tako sitne u odnosu prema veličini pora i kapilara da se adsorbiraju na unutrašnjoj površini u vrlo tankom sloju, protok se filtrata ne smanjuje tokom vremena. Perioda filtriranja teoretski završava kada je prekrivena cijela unutrašnja površina.

#### UREĐAJI ZA FILTRIRANJE

U praksi je filtriranje povezano s nizom drugih operacija. Tako se, zbog toga što se čvrsta tvar koja se filtriranjem odvaja iz suspenzije nakuplja na ili u filterskom sredstvu, filterski kolač mora uklanjati, filtersko sredstvo mijenjati, a filtrat odvoditi. Zbog toga, uz dijelove potrebne za izvođenje filtracije u užem smislu, uređaji za filtriranje obuhvataju još i naprave i aparate potrebne za izvođenje tih pratećih operacija. Već prema načinu djelovanja filterskog sredstva i djelujućoj sili procesa koji se u njima odvija, stupnju mehanizacije i automacije njihove aparatute i uređaji mogu se dijeliti na filtre s kolačem i dubinske filtre, gravitacijske, vakuumskе i tlačne filtre, diskontinuirane i kontinuirane filtre.

Sve ove podjele mogu se uklopiti u klasifikaciju prema kojoj se filtri dijele na filtre s kolačem i dubinske filtre, a onda se svaka od tih grupa dijeli na gravitacijske, vakuumskе i tlačne filtre i dalje svaka od tih podskupina na diskontinuirane i kontinuirane filtre.

Pri tome treba imati na umu da je, strogo gledajući, svako filtriranje diskontinuirani proces. (Kolač se ne može sakupljati u beskonačnost. U najmanju ruku treba čistiti ili zamjeniti filtersko sredstvo.) Međutim, ipak se može smatrati da operacija teče kontinuirano kad za dugo vrijeme trajanja filterskog sredstva na svakom mjestu filtra postoji uviјek isto stanje. Čak i diskontinuirani filtri mogu se uključiti u pseudokontinuirani proces tako da se na prikladan način spregne rad više jedinica uz pomak faza rada.

### Filtri s kolačem

O filtrima s kolačem govori se kad se tokom filtriranja na njihovim filtarskim sredstvima nakuplja vidljiva količina kolača. Suspenzija koja se pri tome filtrira obično sadrži više od 0,1% čvrstih čestica. (Može sadržavati i do 40% i više.) Kad je filtrat produkt, stupanj do kojeg se ispirje ovisi o vrijednosti tog produkta. Kad je pak kolač produkt, iz njega se mora ukloniti praktično sav filtrat.

### GRAVITACIJSKI FILTRI S KOLAČEM

Budući da se proces u ovim filtrima zapravo odvija pod utjecajem hidrostatskog tlaka stupca suspenzije iznad filtarskog kolača, o njima se ponekad govori i kao o hidrostatskim filterima, što je možda korektnije. Taj je stupac obično relativno nizak, pa se gravitacijski filtri upotrebljavaju u slučajevima kad nije potrebna velika brzina filtriranja.

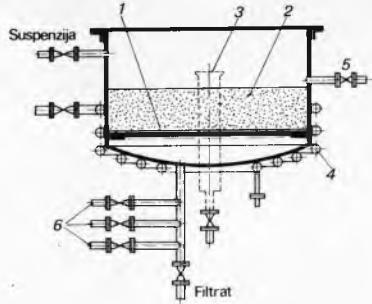
Prednosti tih filtera su u tome što su jednostavnji, što je za njihov rad potrebljano najmanje pomoćne opreme, što se mogu izraditi od bilo kojeg materijala i što se u njima krupnije čestice brzo sliježu i tvore predsolj s malim otporom protjecanju filtrata, pogodan za filtriranje sitnih čestica. Nedostaci su im što je brzina filtriranja mala, što zauzimaju, u usporedbi s korisnom filtarskom površinom, veliki prostor i što njihovo održavanje nije bez problema.

Gravitacijski filtri moraju biti otvoreni prema atmosferi, moraju imati nosač filtarskog sredstva i uredaj za odvođenje filtrata. Najstariji su pozorni filtri, te postoji veliki niz njihovih tipova. Dijele se prema tome da li im je nosač filtarskog sredstva nepokretan (stacionarni gravitacijski filtri) ili pokretan (pokretni gravitacijski filtri). Prvi su diskontinuirani, a drugi kontinuirani.

**Stacionarni gravitacijski filtri.** Grupu stacionarnih gravitacijskih filtera s kolačem čine pješčani filtri (otvoreni) i gravitacijske nuče.

Otvoreni pješčani filtri uredaji su za filtraciju kojima je filtracijsko sredstvo sloj pijeska. Već neki prirodni, za filtriranje pogodni nanosi pijeska mogu poslužiti za tu svrhu. Takvi su slučajevi dosta rijetki, ali postoje. U tim slučajevima, obično za snabdijevanje naselja pročišćenom površinskom vodom, nužni su uredaji prikladni raspodjeljavati suspenzije i sistem za sakupljanje filtrata. Takvi prirodni otvoreni pješčani filtri, naročito oni za pročišćavanje vode, zauzimaju veliki prostor, jer su za to potrebni veliki kapaciteti.

**Otvoreni pješčani filtri** sastoje se od nosača sloja pijeska, nadgrada (obično od betona ili drva, ali često i od drugih materijala) i odvodnog kanala ili cijevi. Sloj pijeska u ovim filtrima obično

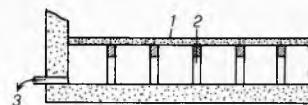


Sl. 8. Otvoreni pješčani filter. 1 Perforirano dno obloženo žičanim plietivom, 2 filtarsko sredstvo, 3 preljev, 4 spirača za grijanje ili hlađenje, 5 odvod vode od ispiranja, 6 dovod vode i drugih sredstava

leži na sloju šljunka ili lomljjenog kamena ili na nekoj drugoj podlozi. Umjesto pijeska kao filtarsko sredstvo ovih filtera mogu se upotrijebiti i drugi materijali (npr. koks, drveni ugljen, antracit, magnetit) primjereno granulirani. Postoje dvije izvedbe ovih filtera: sa ili bez uredaja za ispiranje. Jedan jednostavni uredaj za ispiranje ovih filtera prikazan je na sl. 8.

Strogo uvezši, premda se na njihovoj površini sakuplja vidljivi filtarski kolač, pješčani filtri su filteri-bistrici, dakle dubinski filteri. Najviše se upotrebljavaju za pročišćavanje vode, te im je izrada standardizirana.

**Gravitacijske nuče** otvorene su posude s »lažnim dnem« (sl. 9) ugrađenim između ruba i dna, negdje između polovice i trećine visine računajući od ruba. Dno može biti ili perforirano ili po-

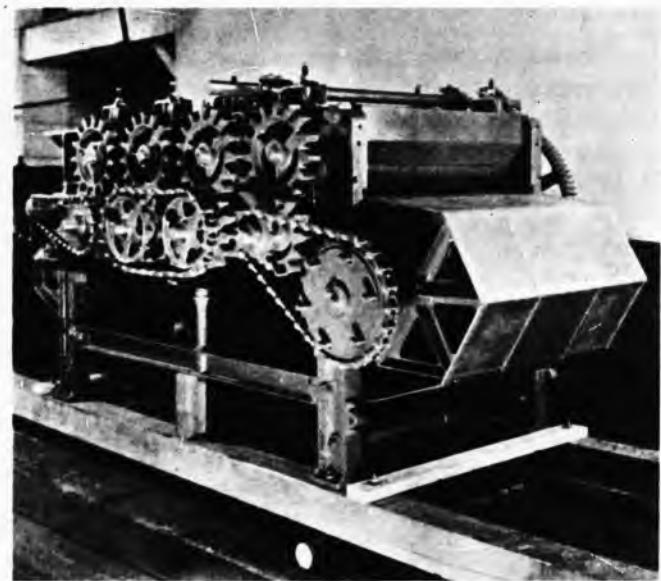


Sl. 9. Presjek dna jedne gravitacijske nuče. 1 Vlažno dno od filtarskog sredstva, 2 potporno kamenje s propustima za filtrat, 3 isput filtrata

roznio i djeluje ili kao nosač ili kao samo filtarsko sredstvo. Filtrat se u ovim filtrima sakuplja u prostoru između dna i lažnog dna ili se direktno odvodi u kanal. Ovi filteri dopuštaju da se u njima, ako je ispiranje filtarskog kolača teško, on ponovno suspendira i zadrži u suspenziji dok se tvari koje iz njega treba ukloniti ne izdvoje difuzijom. Međutim, uklanjanje suhih filtarskih kolača iz ovih filtera vrlo je teško. Ipak gravitacijske nuče važni su aparati kemijske industrije, jer, kad su od keramičkih materijala, mogu poslužiti za filtriranje agresivnih kiselih suspenzija. Grade se također i od metala ili drva s nerastavljivo ugrađenim ili zamjenjivim dnem.

**Pokretni gravitacijski filtri s kolačem.** Grupu ovih filtera čine gravitacijski filtri s pomičnim sitom i gravitacijski filtri s rotirajućim bubenjem ili rotirajućim diskom.

**Gravitacijski filtri s pomičnim sitom.** Princip rada ovih filtera sličan je principu rada vakuumskih filtera s beskonačnom trakom (v. sl. 24). I njihova sita, koja djeluju kao filtracijsko sredstvo, zapravo su beskrajne trake zagonjene valjcima na kojima leže, samo što djelujuća sila procesa ovde nije ni podtlak u prostoru pod filtarskim sredstvom, ni prettlak iznad filtarskog kolača. Beskrajne trake ovih filtera mogu biti i rastavljivo složene od pločastih sita. Da bi te ploče na krajevima filtra, na kojima traka mijenja smjer, mogle pristajati na nosače, moraju biti remenice heksagonskog oblika (sl. 10). Protjecanje filtrata kroz filtarski kolač u ovim filterima potpomaže se i drugim sredstvima. Npr.,



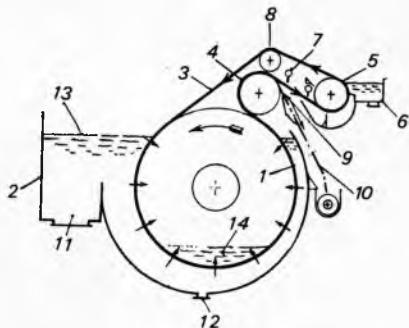
Sl. 10. Gravitacijski filter s pomičnim sitom

u filtru prikazanom na sl. 10 odvija se više pod utjecajem tlačenja valjcima nego gravitacije. Filtarski kolač pada s beskrajnih traka ovih filtera pod utjecajem vlastite težine. Ovi filteri najviše se upotrebljavaju za filtriranje vlaknastih materijala, npr. u industriji prerade drvenih vlakana, proizvodnji papira.

**Gravitacijski filtri s rotirajućim bubenjem.** Kako im i naziv kaže, karakterističan dio ovih filtera jest rotirajući buben. Plašta tog bubnja je od perforiranih ploča ili od žičanog sita. Obično je buben zaronjen u posudu sa suspenzijom koju treba filtrirati. Tada se filtarski kolač nakuplja na površini, a filtrat ulazi u unutrašnjost bubnja i odatle se odvodi. Njegova je razina u unutrašnjosti bubnja podesiva. Filtarski kolač skida se tada s površine bubnja

## FILTRACIJA

četkama, valjcima strugačima, protustrujnim ispiranjem ili beskrajnom trakom. Princip rada jednog takvog filtra prikazan je na sl. 11. Postoje i »unutrašnje« izvedbe ovih filtera, u kojima se filtrira na unutrašnjoj površini bubnja, slično kao i u unutarnjim vakuumskim filterima s rotirajućim bubnjem (vl. sl. 17).



Sl. 11. Shematski prikaz procesa gravitacijskog filtra s rotirajućim bubnjem. 1 Bubanj, 2 posuda, 3 beskrajno žičano sito, 4 valjak za uklanjanje kolača, 5 valjak za nanašanje filterskog sredstva, 6 filtrat od nanošenja filterskog sredstva, 7 uređaji za isparavanje, 8 vodilice, 9 strugač, 10 uklanjanje filterskog kolača, 11 ulaz suspenzije, 12 ispust, 13 razina suspenzije, 14 filtrat

Upotreba ovih filtera ograničena je na slučajeve u kojima otpor protjecanju filtrata kroz filterski kolač ne narasta do značajnih vrijednosti. Obično je to filtriranje suspenzija grubozrnatih ili vlaknastih čvrstih tvari, o kakvima se radi, npr., pri čišćenju površinskih voda, otpadnih voda industrije papira.

**Gravitacijski filteri s rotirajućim diskom.** Iako su filtri s rotirajućim diskom pretežno vakuumski (v. sl. 20 i 21) postoje neki od njih koji rade kao tlačni, pa čak i neki koji rade kao gravitacijski. Bitan dio tih filtera obično je veliki metalni disk na površini kojega se filtrira. Za razliku od vakuumskih i tlačnih filtera s rotirajućim diskom, disk gravitacijskih filtera ove vrste obično je zaronjen u posudu sa suspenzijom pod nekim kutom. On polako rotira i iznosi filterski kolač iz suspenzije do uređaja za njegovo uklanjanje.

### VAKUUMSKI FILTRI S KOLAČEM

Već i razmijerno mala razlika između tlakova pod kojima se odvijaju procesi u vakuumskim filterima i procesi u gravitacijskim filterima omogućava brzinu filtriranja znatno veće nego u već opisanim filterima i time konstrukciju aparata mnogo manjih dimenzija.

Za pogon ovih uređaja karakteristično je da im se suspenzija koju treba filtrirati može privoditi pod utjecajem gravitacije, ili je za to dovoljna niskotlačna pumpa, ali se filtrat može iz njih izvoditi samo pumpom. Osim pumpe za filtrat vrlo važan dio u ovim uređajima jest i vakuumska pumpa. Radije se upotrebljavaju »suhe« nego »mokre« vakuumske pumpe. Debljina filterskog kolača koji se može dobiti ovim uređajima relativno je mala (naročito kad se radi o filterima s rotirajućim bubnjem). Kolač je jednolike strukture, nije zbijen, pa su u njemu otpori protjecanju uzrokovani trenjem razmijerno mali, a to pogoduje i ispiranju i odvodnjavanju.

Uz nabrojene, prednosti vakuumskih filtera su i te što se mogu konstruirati u kontinuiranoj izvedbi, pa zahtijevaju malo radne snage za posluživanje, što im je filterska površina otvorena i time lako dostupna nadzoru i popravcima, te što se lako održavaju.

Nedostatak je vakuumskih filtera što se u njima stalno mora održavati vakuum, što se ne mogu upotrijebiti za filtriranje lako-hlapljivih tekućina i što je razlika tlakova ispred i iza filterskog kolača mala, te se suspenzije koje stvaraju kolače velikog otpora strujaju filtrata ili vrlo teško filtriraju vakuumskim filterima ili se uopće ne mogu filtrirati.

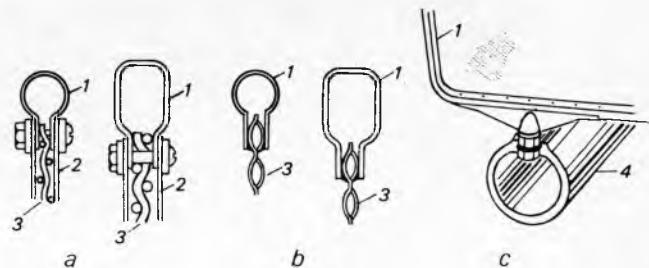
**Diskontinuirani vakuumski filteri** jesu vakuumske nuče i lisnati vakuumski filteri.

**Vakuumske nuče.** Konstrukcijom se vakuumske nuče razlikuju od gravitacijskih time što su, pri jednakim kapacitetima, manjih dimenzija, što su gradene čvrše, tako da mogu izdržati veću razliku tlakova i što njihove komore za sakupljanje filtrata moraju

biti priključene na neki sistem za proizvodnju podtlaka. To je obično neka »suha« vakuumska pumpa. Konstrukcijski materijali vakuumskih nuča različiti su metali, keramika, drvo.

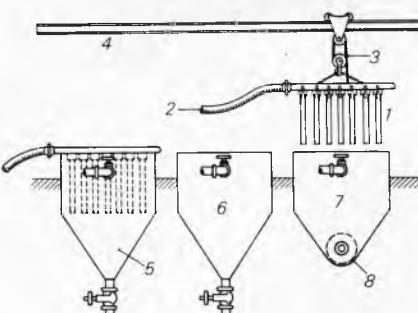
Vakuumske nuče manje se upotrebljavaju nego gravitacijske, najviše za fine operacije u poluindustrijskim postrojenjima, poglavito pri filtriranju kiselih suspenzija. Pri tome se vakuumska pumpa uključuje u rad pošto je suspenzija dolivena, pošto se formirao filterski predloj ili pošto je suspenzija pomiješana s pomoćnim filterskim sredstvom. Ako dobiveni filterski kolač ne puca, odlično se ispire.

**Lisnati vakuumski filteri.** Najvažniji dijelovi ovih filtera jesu jedna ili više jedinica zvanih filterskih listova. Konstrukcija tih listova vrlo je raznolika; neke od njih prikazane su na sl. 12. Obično su to žičana sita, ili perforirane ploče na neki način spojene s okvirima koji su, u stvari, kanali potrebni za odsisavanje, a mogu imati različite profile. Deformacija filterskih površina ovih elemenata pod utjecajem razlike tlakova spriječena je među sitima, odnosno pločama smještenim ukrućenjima obično od grubog žičanog tkiva. Ploče, odnosno sita ovih elemenata mogu sama djelovati kao filterska sredstva ili služe kao nosači filterskog sredstva. Za slučajevе kad su filterska sredstva tekstilna tkiva, izrađuju se i listovi bez ploča ili sita samo s ukrućenjima. Pri tom je jedan od načina spajanja listova s filterskim sredstvom da se od posljednjega načine vreće koje se navlače na listove.



Sl. 12. Karakteristične konstrukcije filterskih listova. a Rastavljeni spoj okvira sa žičanim sitima, odnosno perforiranim pločama i ukrućenjima, b nerastavljeni (zavareni) spoj okvira s ukrućenjima, c spoj okvira sa sabirnikom usisa; 1 okvir, 2 perforirane ploče ili žičana sita, 3 ukrućenja, 4 sabirnik usisa

Najpoznatiji filteri iz ove skupine jesu tzv. Mooreovi filteri. Postoje dvije njihove izvedbe, tip A i tip B. Princip djelovanja Mooreovog filtra tipa A shematski je prikazan na sl. 13. Vidi se da se listovi, prethodno spojeni sa sabirnikom odsisa sistema za proizvodnju podtlaka, zavješenim na kranu pokretljivom po kranskoj stazi, najprije zaranjuju u posudu sa suspenzijom koju treba filtrirati. Kad je formiranje filterskog kolača završeno, listovi se premještaju u posudu s tekućinom za ispiranje. Pošto se filterski kolač ispere, listovi se premještaju nad posudu za prihvatanje kolača, prekine se odsisavanje i listovima se privede komprimirani zrak,



Sl. 13. Princip rada Mooreovog filtra tipa A. 1 Filterski listovi, 2 priključak na vakuumsku, odnosno tlaku posudu, 3 kran, 4 kranska staza, 5 filtracijska posuda, 6 praonik, 7 prihvata posuda, 8 pužni transporter

te time kolač zbaci u posudu, iz koje se odvodi pužnim transporterom. Najvažnije svojstvo ovog filtra jest što se na njemu kolač odlično ispire. Zbog toga se još uvjek razmijerno mnogo upotrebljava, naročito u »mokrim« procesima metalurgije. U Mooreovom

filtru tipa B listovi miruju, a tekućine struje kroz posude. Manje je uspješan od prvoga zbog toga što je debljina kolača koji se njime dobije nejednolika i što je kolač nepogodan za ispiranje i sušenje. Fotografija jednog Mooreovog filtra velikog kapaciteta prikazana je na sl. 14.



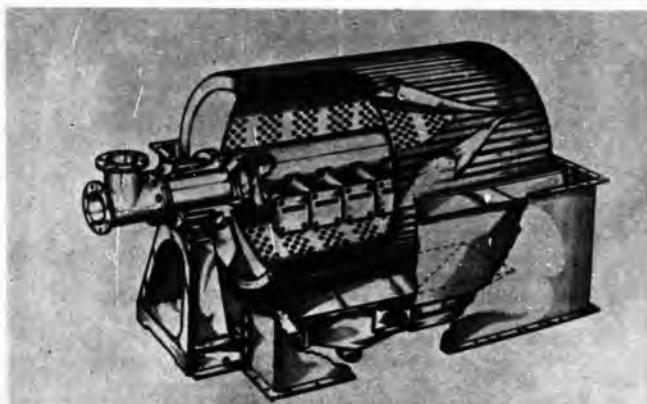
Sl. 14. Mooreov filter velikog kapaciteta

**Kontinuirani vakuumski filtri.** Najvažniji filtri iz ove skupine jesu vakuumski filtri s rotirajućim bubnjem, vakuumski filtri s diskom, tanjurasti filtri i filtri s beskrajnom trakom.

Vakuumski filtri s rotirajućim bubnjem ili, kako se obično nazivaju, filterski bubenjevi danas su najvažniji kontinuirani filtri uopće, jer su posebno prikladni za filtraciju u slučajevima kad se moraju kontinuirano dobivati velike količine filterskog kolača ili/i filtrata. Njihove prednosti čine ih konkurentnim i u mnogim područjima primjene filterskih preša, koje su inače još uvek u upotrebi više od svih drugih vrsta filtera. Uz već navedene prednosti kontinuiranih i vakuumskih filtera, to su još njihov čisti pogon, mali utrošak energije i filterskih sredstava, odvojeno dobivanje filtrata i filtrata od ispiranja. Najviše se upotrebljavaju za filtriranje suspenzija koje se po prirodi lako filtriraju, ili se mogu učiniti lako filtrabilnim dodavanjem pomoćnih filterskih sredstava, tj. za tzv. filtriranje uz predsjloj.

Okolnost što su ovi filtri toliko važni za industriju bila je poticaj za intenzivan razvoj njihove konstrukcije. Time su nastali različiti tipovi ovih filtera. Tako uz već spomenute »vanjske« i »unutarnje« izvedbe među najvažnijim tipovima filterskih bubenjeva nalaze se oni kojima je plastična cijelovita filterska površina (beskomorni filterski bubenjevi) i oni s bubenjevima kojima se na plastičnu nalazi više odvojenih komora s vlastitim, posebnim filterskim površinama (višekomorni filterski bubenjevi), filtri kojima se suspenzija za filtriranje dovodi odozgo (filterski bubenjevi kojima se suspenzija dovodi u gornjem dijelu). Postoje i specijalne konstrukcije filterskih bubenjeva za filtriranje s predsjlojem.

Konstrukcija jednog vanjskog beskomornog filterskog bubenja prikazana je na sl. 15. Da bi se u njemu mogao održavati podtlak,

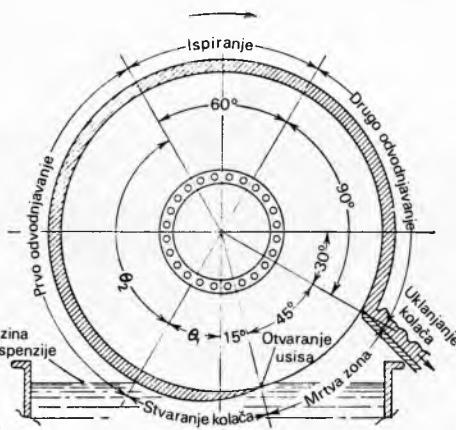


Sl. 15. Konstrukcija vanjskog beskomornog filterskog bubenja

bubanj mu je za razliku od gravitacijskih filtera s rotirajućim bubenjevima zatvoren s obje strane. Ovješen je o vlastitu osovinku u spremniku kojemu se privodi suspenzija za filtriranje. Razina suspenzije u spremniku održava se s pomoću preljeva, a razdvajanje njenih faza sprečava nekim sistemom miješanja. Plastična površina je od perforiranih ploča, a površina mu je podijeljena u više (36...90) longitudinalnih sekcija. Navodi se da to održava pretežni dio filterske površine (93%) stalno aktivnim. Filtersko sredstvo ovdje se učvršćuje na plastičnu bubenja s pomoću štapova u utorima među sekcijama. Unutrašnjost ovog bubenja spojena je sa sistemom za proizvodnju podtlaka nasisnim vodom za uklanjanje filtrata ugrađenim u osovinku. Ovaj vod ima sabirne priključke. Ako je potrebno odvojeno sakupljati filtrat i vodu od ispiranja, u bubanj se ugrađuje i za to potrebitna prihvativa posuda s posebnim odsisom. Filterski kolač odvaja se s filterske površine bubenja udarima komprimiranog zraka koji se privodi posebnim ugrađenim uređajem. Odvojeni filterski kolač pada u uredaj za odvođenje.

Konstrukcija beskomornih filterskih bubenjeva robustnija je od konstrukcije višekomornih, jer moraju izdržati atmosferski tlak na cijeloj filterskoj površini. Zbog toga im je u primjeni pri visokim vakuumima veličina ograničena. Grade se s filterskim površinama do  $40 \text{ m}^2$ , od svih materijala osim od drva. (Inače beskomorni filterski bubenjevi djeluju jednako kao i više komorni.)

Vanjski višekomorni filterski bubenjevi najviše se upotrebljavaju od svih uredaja iz ove skupine. Princip njihovog rada shematski je prikazan na sl. 16. Vidi se pet karakterističnih radnih



Sl. 16. Princip rada vanjskog višekomornog filterskog bubenja

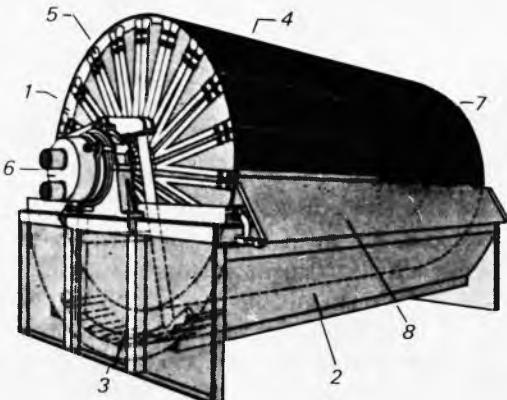
zona filtra kroz koje prolazi svaka komora filtra pri svakom putnom okretaju (radnom ciklusu) bubenja. Jedna od tih zona je ona u kojoj je bubanj zaronjen u suspenziji. To je zona filtriranja u kojoj se formira filterski kolač. U pravcu gibanja bubenja slijedeća radna zona filtra, tzv. zona odvodnjavanja, počinje na mjestu na kojem bubanj izrana iz suspenzije. U toj zoni se iz filterskog kolača uklanja dio filtrata. Zatim slijede zona ispiranja u kojoj se u filterskom kolaču zaostali filtrat ispira tekućinom za ispiranje i zona odvodnjavanja nakon ispiranja. Za sve vrijeme gibanja površine bubenja kroz ove četiri zone filterski kolač se drži na filterskoj površini, a kroz njega strui filtrat, odnosno tekućina za ispiranje pod utjecajem podtlaka u unutrašnjosti bubenja. Međutim, na početku posljednje, pete radne zone filtra, tj. na mjestu gdje se filterski kolač skida s bubenja, razlika tlakova potrebna za prethodne procese ne samo što postaje nepotrebna nego bi tu djelovala štetno. Zbog toga se na tom mjestu prekida djelovanje podtlaka. (Što više, u mnogim izvedbama filterski se kolač zbacuje, kako je to već naprijed opisano, udarima komprimiranog zraka. (Na sl. 16 prikazano je skidanje kolača strugačem.) Na kraju zone uklanjanja kolača, tj. na mjestu gdje bubanj zaranja u suspenziju, mora se filterska površina ponovo dovesti pod utjecaj podtlaka.

Princip rada ovih filtera razlikuje se, dakle, od principa rada beskomornih filtracijskih bubenjeva time što je ovdje tokom svakog pojedinog radnog ciklusa potrebno svaku komoru uzastopno

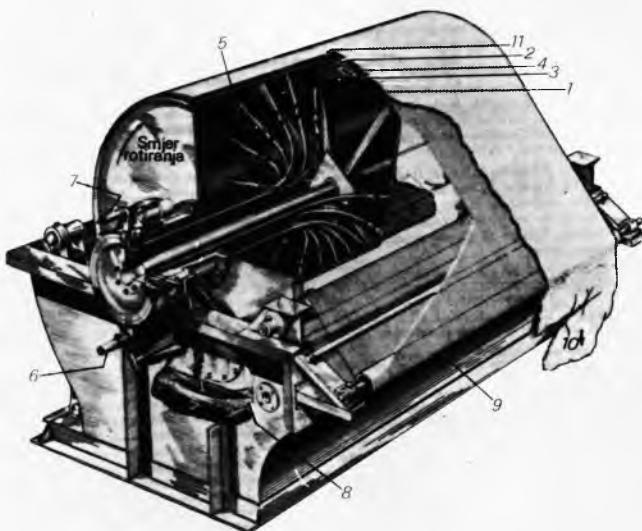
## FILTRACIJA

priklučiti na odsis filtrata, od toga je isključiti i priključiti na odsis tekućine od ispiranja te potpuno isključiti od odsisa, a u izvedbama s uklanjanjem filterskog kolača pretlakom još i priključiti na dovod komprimiranog zraka i od toga je isključiti. Za tu svrhu ovi filtri, za razliku od beskomornih filterskih bubenjeva, imaju složene razvodne sisteme.

Neke od konstrukcija ovih bubenjeva, na kojima se vide za njihovo funkciranje najvažniji dijelovi, prikazane su na sl. 17 i 18. Komore na filterskoj površini ovih bubenjeva plosnati su i



Sl. 17. Konstrukcija višekomornog filterskog bubenja sa strugačem. 1 Bubanj, 2 korito, 3 mješalo, 4 razdjelne letve komora, 5 odsisne cijevi, 6 razvodni ventil, 7 filterski kolač, 8 strugač



Sl. 18. Konstrukcija višekomornog filterskog bubenja s užetnim uređajem za skidanje kolača. 1 Bubanj, 2 razdjelne letve, 3 žično tkivo, 4 filtersko platno, 5 odsisna cijev, 6 odvod filtrata u vakuumski sistem, 7 odvod ispiraka u vakuumski sistem, 8 mješalo, 9 valjak za skidanje filterskog kolača, 10 užeta, 11 filterski kolač

jedni od drugih letvama odvojeni elementi, pokriveni perforiranim pločama, na kojima je obično još učvršćena podloga za filtersko sredstvo, izrađena od žičanog tkiva. Pokrovne perforirane ploče komora imaju na strani kolača žlebove za otjecanje, a na vakuumskoj strani kanale za sakupljanje filtrata. Svaka komora posebno je kruto spojena s razvodnim sistemom. Taj se sastoji od odsisnih cijevi potrebnih za taj spoj, pri čemu za odsis iz svake komore može biti predviđena jedna ili više cijevi, i razvodnog ventila specijalne konstrukcije, koji se sastoji od jednog nepokretnog i jednog pokretnog dijela. Sistem od pokretnog dijela razvodnog ventila i s njime spojenih odsisnih cijevi rotira zajedno s bubenjem. Postoje i konstrukcije sa dva ovakva razvodna sistema. Tada se razvodni ventili nalaze na jednoj i na drugoj strani bubenja. Budući da su komore zatvoreni elementi, te strane ne moraju biti zatvorene.

Pored uredaja za skidanje filterskog kolača s pomoću udara komprimiranog zraka ili strugačima kao na sl. 17, posebno pogod-

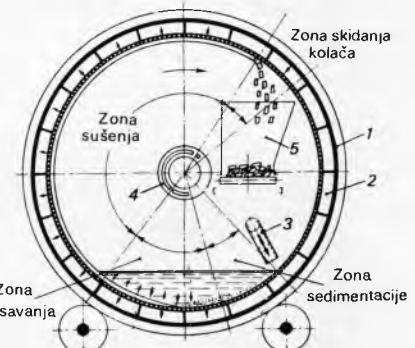
nih za slučajeve kad se radi o debelim kolačima koji se ne lijepe na filtersko sredstvo (najčešće se primjenjuju), u ovim filtrima upotrebljavaju se još i uredaji s užetima kao na sl. 18 i uredaji s valjcima kao na sl. 19. Skidanje filterskog kolača s bubenja užetima pogodno je za kolačne slojevitne strukture. Pri tome do odvajanja kolača od užeta dolazi na pomoćnom valjkusu, gdje užeta naglo mijenja smjer. Nedostatak ovog načina skidanja kolača jest što razmjerno veliki dio ( $\sim 1/4$ ) filterske površine bubenja ostaje neiskorišten za filtriranje. Slično djeluju i filtri u kojima se namjesto užeta preko valjaka za skidanje kolača vodi beskrajna traka od samog filterskog sredstva. To dopušta primjenu jednostavnog i djelotvornog, kontinuiranog čišćenja tog sredstva, pa su takvi filtri prikladni za filtriranje suspenzija s finim česticama čvrste tvari koje brzo zapečaju pore.

Vanjski višekomorni filterski bubenjevi proizvode se od različitih materijala: čelika, različitih slitina, ojačanih plastičnih materijala. Također su i filterska sredstva koja se u njima upotrebljavaju vrlo raznolika; to su npr. tkanine od prirodnih i sintetskih vlakana, od metalnih materijala. Grade se u veličinama od  $0,25 \cdots 100 \text{ m}^2$  filterske površine.

S gledišta namjene vanjski filterski bubenjevi, kojima se suspenzija dovodi u gornjem dijelu, i unutarnji višekomorni filterski bubenjevi čine skupinu filtera za filtriranje suspenzije s česticama čvrste tvari koje brzo sedimentiraju. Iskorištavanjem tog svojstva tih suspenzija za formiranje filterskog kolača izbjegava se upotreba mješala i velikih vakuumskih pumpi.

Konstrukcija prvi od ove dvije vrste filtera, s posudom za suspenziju iznad bubenja, povezana je s problemima brtvljenja. Nedostatak im je i slabo iskorištenje filterske površine, ali im je održavanje vrlo jednostavno. Ako imaju korito, u njemu se nalazi tekućina za ispiranje.

Princip rada jednog unutarnjeg višekomornog filterskog bubenja prikazan je na sl. 20. Jedna mu je strana potpuno zatvorena, a druga ima koncentrični otvor kroz koji se uvođi suspenzija i ovdovi kolač. Promjer tog otvora određuje maksimalno uranjanje bubenja. Obično je to  $25 \cdots 30\%$  od promjera bubenja. Nema posude za suspenziju. Bubanj leži na valjcima, s kojih se ujedno prenosi gibanje. Može rotirati različitim brzinama. Razvodni ventil smješten je na zatvorenoj strani bubenja. Filterski kolač skida se ovdje pod utjecajem gravitacije, pa je potrebno da razvodni ventil isključuje nasis sistem za vakuum od komora nakon što one prođu kroz najvišu točku putanje njihovog gibanja. Obično se one tada još i propuhuju blagom strujom zraka. Izrada i održavanje ovih filtera su jeftini.



Sl. 20. Princip rada jednog unutrašnjeg višekomornog filterskog bubenja. 1 Bubanj, 2 korito, 3 dovod suspenzije, 4 razvodni ventil, 5 korito za prihvati filterskog kolača s transportnim razmrom za odvod

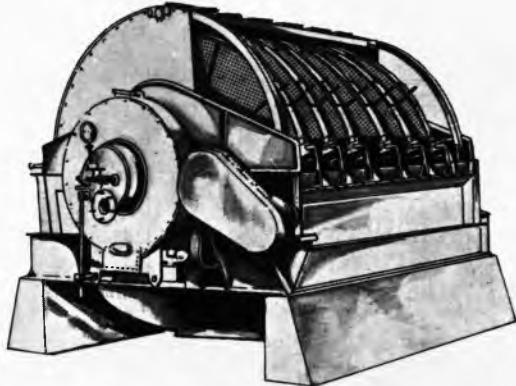
Filterski bubenjevi za filtraciju s predslojem upotrebljavaju se jednakom kao i svi filtri u kojima se filtrira s predslojem, tamo gdje se filtriraju vrlo razrijedene i teško filtrabilne suspenzije.

I ovdje je predsjedničko filtrarsko sredstvo, formira se od nekog prikladnog pomoćnog filtrarskog sredstva primjerene granulacije na filtrarskoj površini prije početka filtriranja. To se ovdje izvodi tako da se pomoćno filtrarsko sredstvo suspendira u prikladnoj tekućini, pa se ta suspenzija filtrira dok predsjednički na bubenju ne postane dovoljno debeo.

Filtarski bubenjevi za filtraciju s predsjedničkom razlikuju se od ostalih filtrarskih bubenjeva samo konstrukcijom uređaja potrebnih za skidanje iskoristjenih površinskih slojeva filtrarskog sredstva. Za razliku od ostalih uređaja za skidanje filtrarskog kolača ovdje su to fini strugači koji se povremeno ili stalno giblju prema bubenju. Tim njihovim gibanjem upravljaju posebni regulacijski uređaji.

Dakako, tamo gdje je filtrarski kolač korišteni proizvod pri korištenju filtrarskih bubenjeva s predsjedničkom za filtraciju mora se računati s kontaminacijom kolača filtrarskim sredstvom.

*Vakuumske disk-filtre* po raširenosti primjene slijedeća su važna skupina vakuumskih filtera. Tzv. diskovi, na kojima se odvija filtriranje, glavni su njihovi dijelovi. To su plosnati elementi kružnog oblika koji sa svake strane imaju filtrarsku površinu,



Sl. 21. Vakuumski disk-filtrat

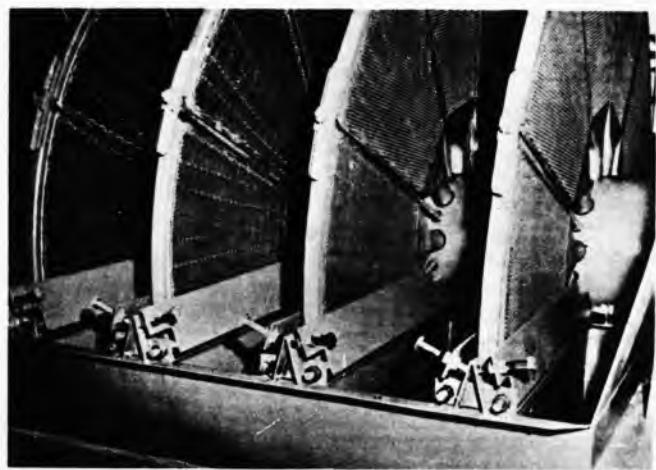
a unutrašnjost im je pregradama podijeljena na sektore (komore s oblikom kružnog isječka). Više ovakvih diskova montirano je na zajedničkoj vodoravnoj osovini koja je smještena u posudi sa suspenzijom. Diskovi su duboko zaronjeni (min. 30% od njihova promjera) u suspenziju i zajedno s osovinom rotiraju. Pri tome, slično kao i komore višekornih filtrarskih bubenjeva, i sektori diskova ovih filtera tokom radnog ciklusa (jednog punog okretaja osovine) prolaze kroz nekoliko radnih faza. Jedna od tih je od zaranjanja u suspenziju i izranjanja iz suspenzije, pri čemu se formira filtrarski kolač. Druga je od izranjanja iz suspenzije do mjesta skidanja filtrarskog kolača, pri čemu se iz njega odvodi dio zaostalog filtrata, a treća od mjesta skidanja filtrarskog kolača do ponovnog zaranjanja u suspenziju. Za vrijeme prolaska sektora kroz prvu i drugu fazu, njihova unutrašnjost priključena je kroz šuplju osovinu na odsis sistem za proizvodnju podtlaka. Tim priključkom odvodi se i filtrat. Pri ulazu u treću fazu kolač se uklanja s pomoću strugača i izbacivanjem komprimiranog zraka, što znači da se sektor mora isključiti od priključka na vakuum i priključiti na dovod komprimiranog zraka. Zatim se opet mora taj dovod isključiti i na početku slijedećeg radnog ciklusa sektor opet priključiti na vakuum. Zbog tih operacija isključivanja i priključivanja i u ovim je filtrima razvodni sistem vrlo važan.

Izgled jednog vakuumskog disk-filtra s čelne strane, na kojoj je smješten njegov razvodni ventil i zagonski sklop, prikazan je na sl. 21. Neki od najvažnijih detalja konstrukcije vakuumskih disk-filtara prikazani su na sl. 22. Vide se diskovi i njihovi sektori, strugači i ispust u koritu za odvod filtrarskog kolača.

Jedan od najvećih nedostataka vakuumskih disk-filtara jest što se zbog okomite površine filtrarski kolač u njima ne može ispirati. Iz istog razloga filtrarski kolači na ovim filterima vrlo su vlažni i imaju neravnu površinu, što otežava njihovo skidanje, ima za posljedicu razmjerno malu trajnost filtrarskog sredstva i nepovoljno se odrazuje na kapacitet.

Prednosti vakuumskih disk-filtara jesu što im je konstrukcija razmjerno jednostavna i jeftina, što im, u usporedbi s volumenom

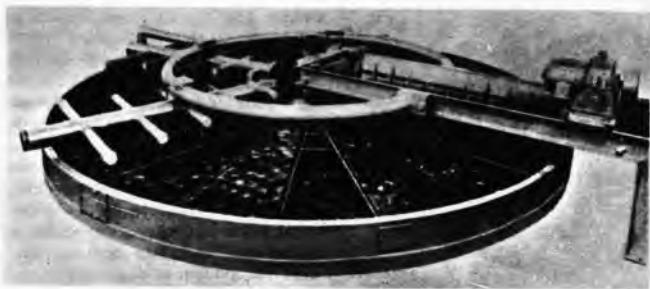
što ga zauzimaju, filterska površina može biti vrlo velika (grade se u veličinama do  $280 \text{ m}^2$  filterske površine) i što su lako dostupni nadzoru i održavanju. Ova svojstva vakuumskih disk-filtara čine ih prikladnim za upotrebu u masovnoj proizvodnji (npr. za filtraciju muljeva i flotacijskih koncentrata pri oplemenjivanju ruda, ugljenih muljeva). Već prema namjeni, konstruiraju se od vrlo različitih materijala poglavito lijevanog željeza, bronce, drva.



Sl. 22. Diskovi i strugači vakuumskog disk-filtra

*Tanjurasti vakuumski filtri i vakuumski filtri s beskrajnom trakom* zajedno čine skupinu tzv. ravnih kontinuiranih vakuumskih filtera. Glavna karakteristika filtera iz te skupine jest što im je, za razliku od ostalih kontinuiranih vakuumskih filtera, filterska površina vodoravna. Prednosti filtera iz te skupine jesu što se na njima lako podešava debljina filtrarskog kolača, što se kolač dobro ispira i suši, i što su prikladni i za filtriranje gustih suspenzija kojima krute čestice brzo sedimentiraju. Nedostaci su im složena konstrukcija i zbog toga visoka cijena, te što im je u usporedbi s volumenom što ga zauzimaju filterska površina vrlo mala (grade se u veličinama do  $20 \text{ m}^2$  filterske površine).

Tanjurasti filtri (vodoravni stolovi za filtriranje, tanjuri za filtriranje, planfiltri), kao što im ime kaže, tanjurima su slični uređaji (sl. 23). Njihov tanjur podijeljen je u veći broj posebnih komora, tzv. sektora, od kojih svaki pojedini prolazi kroz niz radnih zona u kojima se izvode dione operacije slično kao i u radnim zonama već opisanih kontinuiranih vakuumskih filtera.

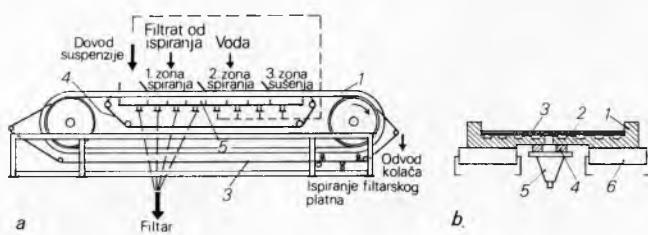


Sl. 23. Konstrukcija tanjurastog vakuumskog filtra

Razvodni ventil za tu svrhu potrebnog sistema smješten je ispod tanjura. Glavni nedostatak ovih filtera jest što se s njih teško uklanja filtrarski kolač. Zbog toga što se to izvodi s pomoću pužnog transporteru smještenog uz samu filtersku površinu, to nikad nije potpuno i uzrokuje niz poteškoća. Ovi problemi izbjegnuti su u nekim specijalnim konstrukcijama tanjurastih filtera, u tzv. tanjurastim filterima s iskretnjivim tavama. U takvim konstrukcijama sektori su u stvari jedna od druge potpuno odvojene komore iz kojih se u zoni uklanjanja filtrarskog kolača taj istres u odvodno korito iskretanjem komora. Takvi filteri mogu se jednostavno opisati kao nizovi vakuumskih nuča. Međutim, mehanički su oni vrlo složeni.

## FILTRACIJA

Vakuumski filtri s beskrajnom trakom u stvari su poboljšani gravitacijski filtri s pomičnim sitom; oni se najviše upotrebljavaju u industriji papira. Princip njihovog rada prikazan je na sl. 24.



Sl. 24. Princip rada vakuumskog filtra s beskrajnom trakom. a) Shematski prikaz uždužnog i b) poprečnog presjeka; 1 transportna traka, 2 perforirana gumeni traka, 3 filtersko platno, 4 klizni remeni, 5 odsisne posude, 6 potporni valjci

Aparat je ovdje zapravo adaptirani transporter s beskrajnom trakom. Oblik te trake prilagođen je zahtjevima operacije. Ona ima bočne stijenke, koje sprečavaju prelijevanje suspenzija s rubova, i površinu na kojoj se nalaze žlebovi i rupe za odvođenje filtrata. Na njoj leži perforirana beskrajna traka od ojačane gume koja služi kao nosač filterskog sredstva. To je obično od filterskog platna izrađena, također beskrajna traka. Ovaj troslojni sistem traka prelazi preko odsisnih posuda priključenih na sistem za proizvodnju podtlaka (malog, jer bi se inače, naročito pri upotrebi gustih filterskih sredstava, pojavio odviše znatan otpor gibanju trake). Za brtvljenje između površine transportne trake i rubova odsisnih posuda pri tome služe dva klizna remena, koja se gibljisu zajedno sa sistemom traka.

Vidi se da se u ovakvim filtrima samo  $\sim 50\%$  filterske površine može iskoristiti za filtraciju, odvodnjavanje i ispiranje filterskog kolača, što je još jedan veliki nedostatak uređaja. Osim toga je i konstrukcija ovih filtera razmjerno složena, zbog čega im je ne samo cijena visoka nego i održavanje teško i skupo. Ipak, ovi filtri imaju i stanovite prednosti. Tako se ispiranje u njima može izvesti vrlo temeljito po protustrujnom principu u po volji velikom broju zona, a filtersko sredstvo može se temeljito očistiti u svakom pojedinom radnom ciklusu.

### TLAČNI FILTRI S KOLAČEM

Okolnost što se u ovim filtrima proces odvija pod utjecajem predtlaka proizvedenog nad suspenzijom koju treba profiltrirati ima za posljedicu nekoliko njihovih važnih karakteristika. Prvo, djelujuća sila procesa može biti znatno veća nego što je kod gravitacijskih i vakuumskih filtera. Zatim, na njima se mogu razmjerno brzo filtrirati suspenzije koje se bez tlaka filtriraju odviše sporo, u usporedbi s korisnom filterskom površinom zauzimaju vrlo malo prostora, a njihovi diskontinuirani tipovi vrlo su fleksibilni.

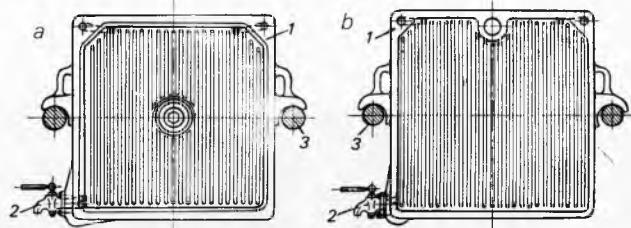
Najkrupniji karakteristični nedostatak filtriranja uz pretlak jest što je teško svaldati poteškoće koje se javljaju kad se ono želi učiniti kontinuiranim. Glavni problem pri tome je uklanjanje filterskog kolača iz prostora pod pretlakom. To jako ograničava primjenu kontinuiranih tlačnih filtera. Osim toga kontinuirani filtri vrlo su skupi, a u pogonu vrlo nefleksibilni. Očekuje se da će automatizacija stvoriti nova rješenja ovih problema i time proširiti primjenu kontinuiranih tlačnih filtera.

**Diskontinuirani tlačni filtri.** Četiri su osnovna tipa diskontinuiranih tlačnih filtera: filterske preše, tlačni lisnatni filtri, tlačni pločasti filtri i tlačni cijevni filtri.

**Filterske preše** upotrebljavaju se više ne samo od svih tlačnih filtera nego i od svih uređaja za filtriranje uopće. S prešama (kao što su npr. strojevi za obradu prešanjem, strojevi za procesne operacije isprešavanja) nemaju ništa zajedničkoga. U biti je filterska preša niz komora u kojima se filtrira paralelno i nakuplja filterski kolač sve dok se njime ne napune. Taj niz rastavljivo je složen u cijelinu od pojedinih elemenata. Rastavljanje i sastavljanje sloga komora filterskih preša mora biti lako i jednostavno izvodljivo, jer je nužno između svaka dva uzastopna radna ciklusa aparata, da bi se uklonio filterski kolač, očistilo ili zamijenilo filtersko sredstvo.

U jednostavnijem slučaju elementi od kojih se sastavljaju komore filterskih preša, izuzevši čelni i stražnji element, jednovrsne su specijalno oblikovane, najčešće pravokutne, ali ponekad i kružne, pa i trokutaste ploče. Tada se govori o komornim filterskim prešama. Međutim, više se upotrebljavaju filterske preše kojima su elementi komora ne samo ploče nego još i među pločama smješteni okviri. Tada se govori o okvirnim filterskim prešama. Filtersko sredstvo u filterskim prešama obično je filtersko platno. Ono može biti od različitih materijala. Zbog male cijene i vrlo dobrih svojstava obično su to pamučne tkanine, ali upotrebljavaju se i vunene tkanine i tkanine od sintetskih vlakana. Za filterska sredstva u filterskim prešama upotrebljavaju se azbest, papir, a i drugi materijali. Filtersko platno navučeno je na ploče, a filtrat otjeće pod njim žlebovima urezanim u filterske površine ploče.

Izgled elemenata (ploče) i komora jedne komorne filterske preše shematski su prikazani na sl. 25 a, odnosno 26 a. Vidi se



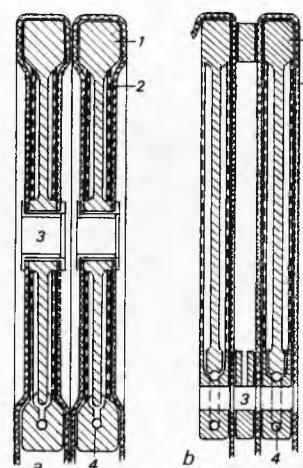
Sl. 25. Shematski prikaz ploča filterske preše. a) Ploča komorne preše, b) ploča okvirne filterske preše; 1 ploča, 2 ispušt filtrata, 3 vodilice ploča (i okvira)

da se komore ovih filterskih preša formiraju s pomoću ispuštenih rubova dviju susjednih ploča. Zbog toga se filtersko platno može jednolično priljubiti na filtersku površinu ploča samo pod tlakom suspenzije, a to zahtijeva da se suspenzija privodi kroz rupe izbušene u pločama i filterskom platnu. Da suspenzija ne bi prodirala u prostor u kojem se sakuplja filtrat, rub rupa u filterskom platnu mora biti nepropusno spojen s rubom rupa u pločama. To se obično izvodi viščanim spojem.

**Filterska površina ploče i komora jedne okvirne filterske preše** shematski su prikazane na sl. 25 b, odnosno 26 b. Ovdje se filtersko platno namjesti na filtersku površinu odmah pri navlačenju na ploče, a komora se formira odmah pri slagaju ploča i okvira. Zbog toga se suspenzija može privoditi komorama kroz rubove okvira, pa nisu potrebni posebni spojevi filterskog platna s filterskom površinom ploča i priprema okvirnih preša za pogon jednostavnija je i može se brže izvesti. Suspenzija se dovodi komorama kanalom koji se formira od rupa izbušenih u rubovima ploča i okvira i u filterskom platnu.

Ovdovi filtrata iz filterskih preša mogu biti tzv. otvoreni, kako je to prikazano na sl. 26, ili zatvoreni (sl. 27). Otvoreni odvodi filtrata izravni su izljevi ploča u odvodno korito, sa slavinom. (Taj zaporni organ služi za isključenje komore iz pogona u slučaju potrebe, npr. ako iz nekog razloga suspenzija počne prodirati u filtrat.) Zatvoreni odvodi filtrata kanali su koji se formiraju opet od rupa izbušenih u rubovima ploča i okvira.

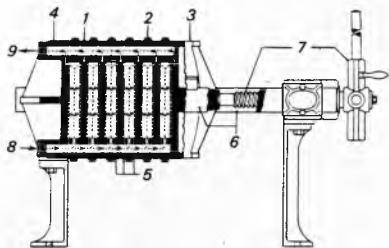
Dovodi suspenzije filterskim prešama mogu se nalaziti u različitim položajima, npr. u komornim filterskim prešama u središtu filterskih površina, ili pri njihovom dnu, u okvirnim filterskim prešama u središtu gornjeg ili donjeg ruba okvira i ploča, ili u njihovim uglovima. Otvoreni odvodi filtrata iz filterskih preša uvijek su u jednom od donjih uglova njihovih ploča, a zatvoreni



Sl. 26. Shematski prikaz komora filterskih preša. a) Poprečni presjek komore jedne komorne filterske preše, b) poprečni presjek okvirne filterske preše; 1 ploča, 2 filtersko platno, 3 dovod suspenzije, 4 odvod filtrata

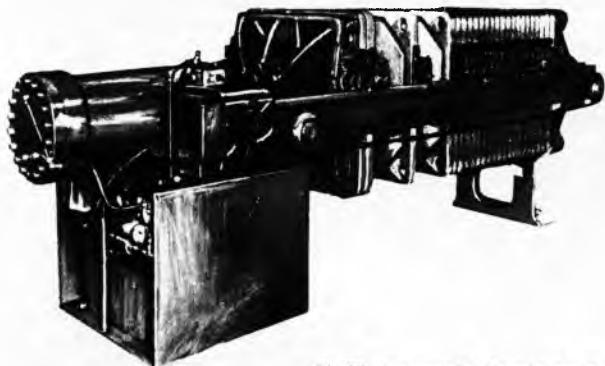
opet mogu biti u različitim položajima. O položaju kanala za dovod suspenzije i odvod filtrata često ovise performanse okvirnih filterskih preša.

Jedna okvirna filterska preša s dovodom suspenzije odozdo i zatvorenim odvodom filtrata odozgo, s ručnim pogonom, shematski je prikazana na sl. 27. Filterske preše srednjeg i velikog



Sl. 27. Shematski prikaz okvirne filterske preše. 1 Ploča, 2 okvir, 3 pomicna glava, 4 nepomična glava, 5 filtersko platno, 6 vodilice ploča i okvira, 7 uređaj za rasklapanje i zatvaranje, 8 dovod suspenzije pod tlakom, 9 isput filtrata

kapaciteta s velikim i teškim okvirima imaju hidrauličke uređaje za rasklapanje i zatvaranje. Najsuvremenije filterske preše imaju za pokretanje ploča i okvira elektromehaničke uređaje s ručnim ili automatskim upravljanjem. Jedna od takvih filterskih preša prikazana je na sl. 28.



Sl. 28. Automatska filterska preša

Prije puštanja u pogon slog komorâ filterskih preša mora se stegnuti dovoljno da filterska platna zabrtve stične površine rubova ploča i okvira toliko da se spriječi propuštanje suspenzije i filtrata na tim mjestima pod utjecajem radnog tlaka. (Propuštanje koje je posljedica djelovanja kapilariteta materijala filterskog platna ne može se sasvim spriječiti. To je jedan od razloga što je pogon filterskih preša nečist.) Uz naprezanje uslijed tog stezanja filtersko platno u komornim je prešama izloženo još i naprezanjima uslijed već opisanog priljubljivanja na filterske ploče tokom procesa i spajanja s dovodima suspenzije. Zbog toga je i trajnost filterskog platna u komornim filterskim prešama manja nego u okvirnim.

Dalja prednost okvirnih filterskih preša jest što se filtriranjem u njima mogu dobiti mnogo deblji filterski kolači nego u komornim. (Debljine filterskih kolača okvirnih filterskih preša dostižu do 150 mm, komornih samo do 70 mm.) Osim toga ni ispiranje filterskog kolača ne može se u komornim filterskim prešama izvesti tako dobro kao što se to može u okvirnim. Ispiranje filterskog kolača u komornim filterskim prešama malo je djelotvorno, jer se može izvesti samo istosmerno (u istom smjeru u kojem pri filtriranju strui suspenzija). Budući da filterski kolač ispunja čitavu komoru, pri tome se, ako on nije iznimno jednolik i propustan, ispiru samo njegovi dijelovi u blizini dovoda tekućine za ispiranje. U okvirnim filterskim prešama, naprotiv, ispiranje filterskog kolača može se učiniti protustrujnim i time vrlo efikasnim. Princip takvog ispiranja prikazan je na sl. 29. Tekućina za ispiranje dovodi se svakoj drugoj ploči, pri čemu je odvod filtrata s ploče zatvoren. (Za dovod tekućine za ispiranje služi poseban kanal.) Tada ona ispuni žljebove tih ploča i strui poprečno kroz

čitavi filterski kolač, a ispušta se kroz odvode filtrata ostalih ploča. Tim putem može se filterski kolač i propuhivati parom ili komprimiranim zrakom radi sušenja. Dakako, i za ovaj način ispiranja potrebno je da komore budu ravnomjerno i potpuno ispunjene filterskim kolačem.

Ponekad u upotrebi filterskih preša može biti važno što je pri rasklapanju i sklapanju komornih filterskih preša potrebno pomoci manje elemenata nego kod okvirnih. Inače jedina prednost komornih filterskih preša pred okvirnim jest što su uz istu filtersku površinu jeftinije.

Upotreba filterskih preša gotovo je univerzalna. Mogu se upotrijebiti i kao dubinski filtri. Tada se obično filtrira uz primjenu pomoćnih filterskih sredstava ili uz predsjloj. Za dovodenje suspenzije filterskim prešama obično se upotrebljavaju pumpe, ali se to može izvesti i pod utjecajem hidrostatskog tlaka. Da je formiranje filterskog kolača u njima završeno vidi se po tome što tlak suspenzije naglo poraste, ili se smanjuje njen protok, odnosno protok filtrata. Da bi se izbjeglo pucanje filterskog kolača i stvaranje kanala u njemu kojima bi mogla otjecati tekućina za ispiranje, najbolje je isprati kolač odmah po njegovom formiranju. Kroz filterski kolač protiskuje se zrak ili para radi istiskivanja zaostataka tekućine, najčešće nakon ispiranja, ali se to može činiti još i nakon filtriranja.

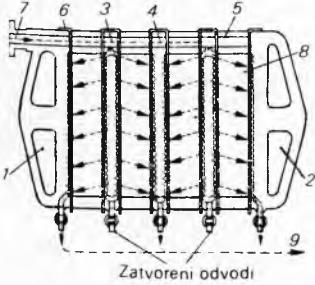
**Tlačni lisnatni filtri** razlikuju se od vakuumskih lisnatih filtera poglavito zatvorenom konstrukcijom. Njihovi filterski elementi (listovi) zatvoreni su u tlačnim posudama u koje se dovodi suspenzija s pomoću pumpe. Te posude cilindričnog su oblika, a mogu biti uspravne ili položene, pa se govori o okomitim, odnosno o vodoravnim tlačnim lisnatim filterima. O tom položaju ovisi također veličina i oblik listova. (Ponekad se tlačni lisnati filtri dijele na vodoravne i okomite, i prema položaju filterskih površina.)

Listovi ovih filtera djeluju slično listovima vakuumskih lisnatih filtera i slične su konstrukcije. Filterska sredstva koja se postavljaju na njihove filterske površine obično su filterska platna. Izraduju se od različitih materijala. Vrijeme filtriranja u ovim filterima određeno je debljinom filterskog kolača koje se može postići. Najčešće se filtrat iz unutrašnjosti pojedinih listova posebno ispušta iz filtra, ali postoje i različiti sistemi za odvodjenje filtrata s pojedinih listova zajedno.

U tlačnim lisnatim filterima smije se filtrirati samo do stanova debljine filterskog kolača kod koje još ne dolazi do njegove konsolidacije. Inače bi došlo do poteškoća pri ispiranju i skidanju kolača. Uočavanje te granice bez naročitih pomagala stvar je iskustva. Grubo se to može ocijeniti na temelju rasta radnog tlaka pri održavanju protoka konstantnim. Međutim, za tu svrhu postoje i posebni uređaji, tzv. detektori debljine kolača, koji mogu ili aktivirati neki alarmni uređaj ili/automat za obustavu pogona kad filterski kolač naraste do te mjere.

Po filtriranju u tlačnim posudama ovih aparata, drukčije nego kod filter-preša, zaostaje stanovita količina suspenzije. Ona se ili filtrira na posebnom filterskom elementu smještenom na dnu posude, ili se vraća u pojnu posudu istiskivanjem komprimiranim zrakom, odnosno parom. Ako nije potrebno ispirati filterski kolač, tlačna posuda otvara se odmah pošto je ispraznjena, kolač se skida i zatim filter priprema za slijedeći radni ciklus. Inače se prije toga u tlačnu posudu uvodi tekućina za ispiranje na jednak način kako se to činilo sa suspenzijom pri filtriranju. Ako je filterski kolač sklon pucanju i sušenju, po filtriranju zaostala suspenzija postepeno se zamjenjuje tekućinom za ispiranje. Po ispiranju kolač se propušte. Skida se s pomoću komprimiranog zraka, ili, ako to ne ide, mlazevima tekućine.

Horizontalni položaj tlačne posude vodoravnih tlačnih lisnatih filtera omogućava da se grade za veće kapacitete nego okomiti

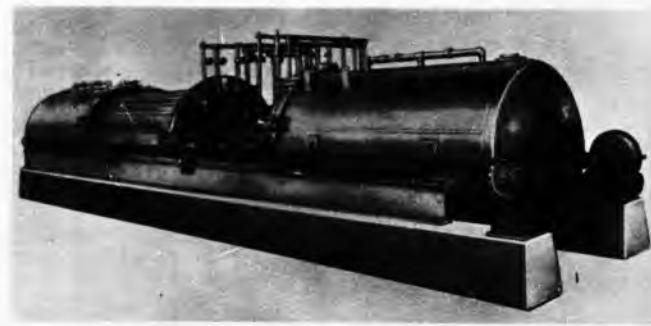


Sl. 29. Princip protustrujnog ispiranja filterskog kolača u okvirnoj filterskoj preši. 1 Celna glava, 2 stražnja glava, 3 ploča za ispiranje, 4 tlačna ploča, 5 okvir, 6 filtersko platno, 7 dovod tekućine za ispiranje, 8 filterski kolač, 9 odvod filtrata od ispiranja

## FILTRACIJA

tlačni filtri, a i suhi se filterski kolač iz njih odvodi na razmjerne jednostavan način. Najpoznatiji vodoravni tlačni lisnatni filtri jesu tzv. Kellyjevi i Sweetlandovi.

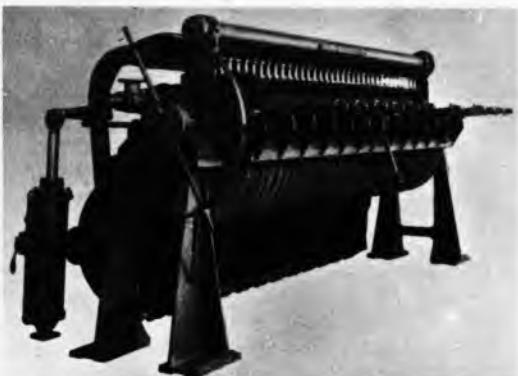
Jedan Kellyjev filter prikazan je na sl. 30. Njegovi listovi pravokutnog su oblika, a u tlačnoj posudi smješteni su paralelno njenoj osi. Različite su veličine. Učvršćeni su na glavi tlačne po-



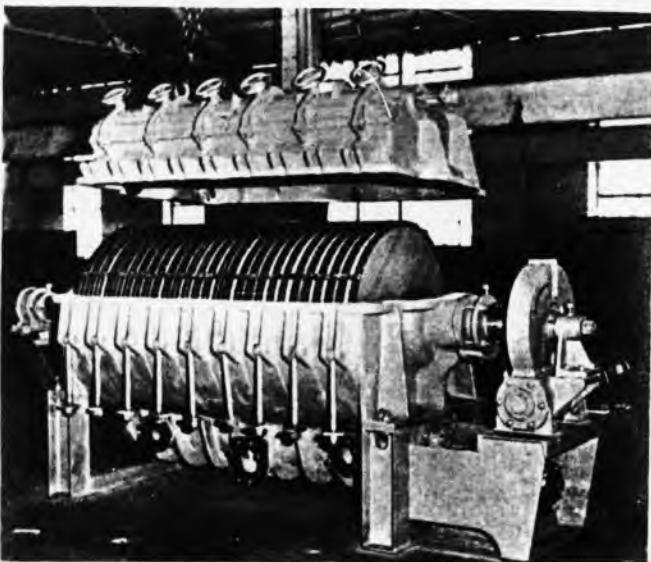
Sl. 30. Kellyjev filter

sude s kojom se zajedno izvlače iz kućišta da bi se skinuo filterski kolač i filter pripremio za slijedeći radni ciklus, i zatim ponovo uvlače. Giblu se na kotačima po tračnicama, s pomoću elektromehaničkog zagonskog uređaja i lančanog prijenosa. To su filtri obično velikog kapaciteta za filtriranje pod visokim tlakovima, najviše u upotrebi u metalurgijskim postrojenjima (npr. za filtriranje crvenog mulja u proizvodnji glinice). Uklanjanje kolača mlazevima tekućine, može se izvesti i bez otvaranja filtra.

Jedan Sweetlandov filter prikazan je na sl. 31. Njegovi listovi kružnog su oblika i jednake veličine, a smješteni su okomito na



Sl. 31. Sweetlandov filter

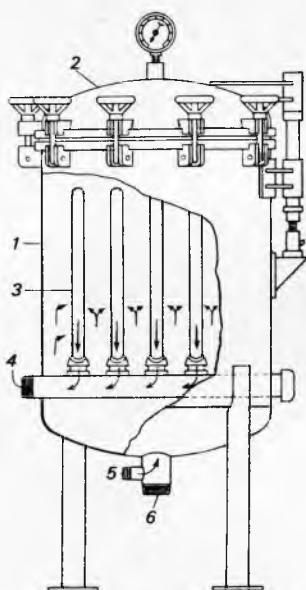


Sl. 32. Vallezov filter

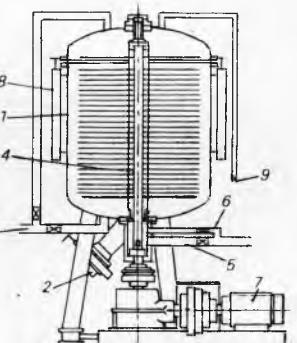
os njegove tlačne posude. Ovakvi filtri najviše se upotrebljavaju za operacije filtriranja u proizvodnji šećera i preradi nafta. Da bi se stvarao filterski kolač jednolike debljine i strukture, listovi nekih filtera ovog tipa rotiraju za vrijeme filtriranja. Jedan takav filter, tzv. Vallezov filter, prikazan je na sl. 32. U nekim slučajevima može biti potrebno da listovi miruju za vrijeme filtriranja, a da rotiraju za vrijeme skidanja filterskog kolača. Konstrukcija filtera Vallezova tipa složenija je od konstrukcije drugih tlačnih lisnatih filtera.

Okomiti tlačni lisnatni filtri nisu prikladni za upotrebu kad treba proizvesti suhi filterski kolač. Njihovi listovi mogu biti pravokutnog oblika, nejednake veličine i smješteni paralelno osi tlačne posude (okomiti listovi) ili kružnog oblika, a jednake veličine i smješteni okomito na os tlačne posude (vodoravni listovi). Pri skidanju filterskih kolača filterskih elemenata okomitih tlačnih lisnatih filtera s vodoravnim listovima susreću se veće poteškoće nego kod okomitih tlačnih lisnatih filtera s okomitim listovima.

Jedan okomiti tlačni lisnatni filter s okomitim listovima prikazan je na sl. 33. Njegovi listovi rastavlјivo su spojeni sa sabirnikom filtrata, tako da se svaki od njih može nezavisno izvući radi nadzora ili popravka. Spoj je učinjen nepropusnim s pomoću brtvenih O-prstenova.



Sl. 33. Princip konstrukcije okomitog tlačnog lisnatog filtra s okomitim listovima. 1 Tlačna posuda, 2 uređaj za silika-gel, 3 dovod suspenzije, 4 cijev sabirnika filtrata, 5 odvod filtrata, 6 odvod filtrata od zaostatka u tlačnoj posudi, 7 zagonski motor, 8 uređaj za dizanje poklopca, 9 odušak

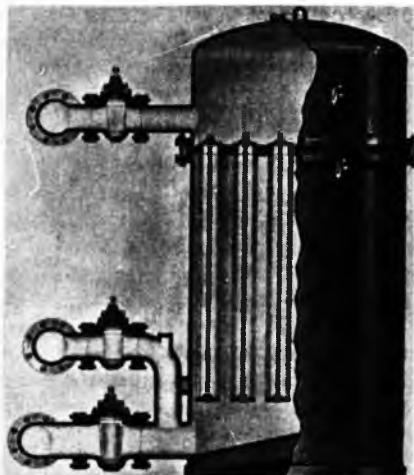


Sl. 34. Princip konstrukcije okomitog lisnatog filtra s vodoravnim listovima. 1 Filterski elementi, 2 uređaj za silika-gel, 3 dovod suspenzije, 4 cijev sabirnika filtrata, istovremeno rotacijska osovina, 5 odvod filtrata, 6 odvod filtrata od zaostatka u tlačnoj posudi, 7 zagonski motor, 8 uređaj za dizanje poklopca, 9 odušak

Jedna od konstrukcija okomitih tlačnih filtera s vodoravnim listovima, kojima se nastoji olakšati skidanje filterskog kolača, schematski je prikazana na sl. 34. S listova ovog filtra kolač se skida pod utjecajem centrifugalne sile koja se pri tome proizvodi rotacijom čitavog sloga listova. Primjena ovakvih filtera ograničena je na slučajeve kad je kolač dovoljno rahao da pod utjecajem centrifugalne sile može biti odbačen. Njegovo skidanje često se potpomaže i istovremenim djelovanjem mlazeva tekućine iz posebno ugradenih sapnica.

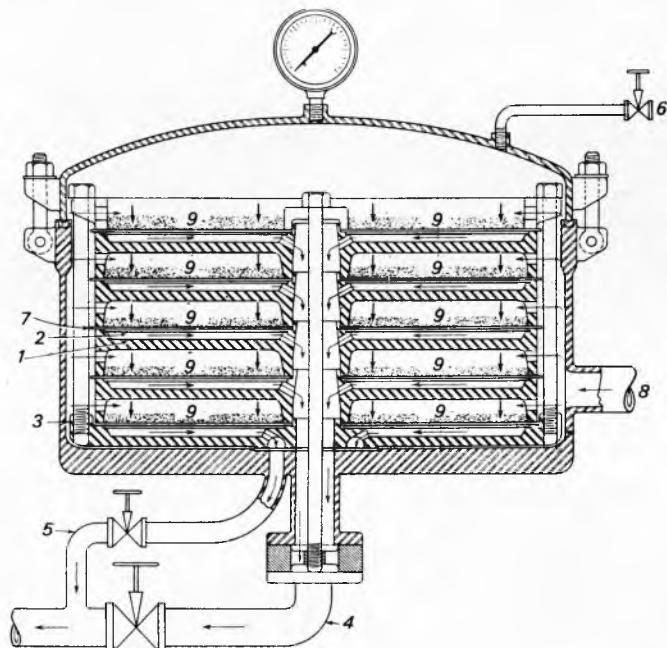
*Cijevni filtri* djelovanjem su slični okomitim tlačnim lisnatim filterima. Razlika između ove dvije vrste filtera uglavnom je u tome što ovdje filterski elementi nisu listovi nego imaju oblik cijevi. Te cijevi mogu biti od žičanog pletiva, poroznog keramičkog ili plastičnog materijala ili ugljena. Materijal tih cijevi može sam djelovati kao filtersko sredstvo ili za to služi predsjloj kojim se oblaže filterska površina. Jedan cijevni filter prikazan je na sl. 35. Njegov sabirnik filtrata je dom tlačne posude, odvojen od prostora za suspenziju pregradnom stijenkicom na kojoj su zavjeteni filterski elementi. Po tome je ovaj filter sličan filterima s patronama (v. dalje). Međutim, od njih se razlikuje po tome što se njegovi filterski elementi mogu čistiti i ponovo upotrijebiti.

*Pločasti tlačni filtri* također su slični okomitim lisnatim filterima s vodoravnim listovima), ali njihovi filterski elementi kružne su ploče koje su obično u stvari tlačne nuče. Konstrukcija



Sl. 35. Konstrukcija cijevnog filtra s domom za sakupljanje filtrata

jednog takvog filtra (tzv. Sparklerovog, također često zvanog i etažnom tlačnom nućom) shematski je prikazana na sl. 36. Sve se operacije u ovom filteru izvode na jednak način kao i u tlačnim lisnatim filterima. Upotreba takvih filtera ograničena je na filtraciju suspenzija s malim sadržajem čvrste tvari. Po završetku radnog ciklusa filter se otvara, slog njegovih ploča rasklapa, skida se filtarski kolač i zatim se filter priprema za slijedeći radni ciklus.

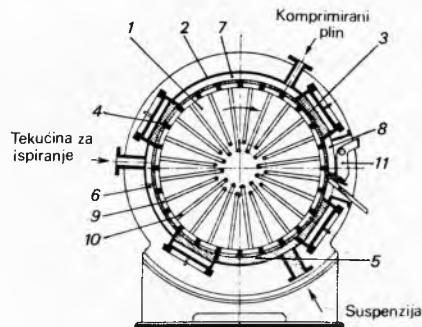


Sl. 36. Shematski prikaz tlačnog pločastog filtra. 1 Filtarska ploča, 2 perforirana ploča, 3 ploča za filtriranje ostatka u tlačnoj posudi, 4 isput filtrata, 5 isput filtrata od filtriranja ostatka u posudi, 6 odušak, 7 filterski papir, platno ili sito, 8 dovod suspenzije, 9 filtarski kolač

**Kontinuirani tlačni filtri.** Bitni dijelovi ovih filtera jesu višekomorni diskovi ili bubnjevi. Ti diskovi i bubnjevi analogni su diskovima, odnosno bubnjevima vakuumskih disk-filtara, odnosno vakuumskih filtera s rotirajućim bubnjem i djeluju na analogan način. Konstrukcijski se kontinuirani tlačni filtri razlikuju od analognih im vakuumskih filtera time što su im diskovi, odnosno bubnjevi zatvoreni u tlačnom kućištu i što su im ti dijelovi konstruirani za veća naprezanja, kojima su u pogonu izloženi uslijed djelovanja većih razlika tlakova. Poteškoće koje u konstrukciji ovih filtera pružaju se na različite načine. Jedan od tih načina jest da se filtarski kolač kontinuirano izvodi iz tlačnog sistema filtra pužnim transporterom u kojem sam kolač djeluje kao brtviло. Me-

dutim, takav način odvođenja kolača primjenljiv je samo u dosta rijetkim slučajevima kad filterski kolač ima za to potrebna svojstva. Drugi jedan način kontinuiranog odvođenja filterskog kolača iz ovih filtera jest s pomoću dviju posuda od kojih svaka može biti zatvorena prema atmosferi i istovremeno spojena s odvodom kolača i tlačnim sistemom filtra ili, obrnuto, zatvorena prema tlačnom sistemu i odvodu kolača iz filtra, a otvorena prema atmosferi. U ovom slučaju kontinuirani pogon filtra omogućava se naizmjeničnom upotrebom posuda za prihvatanje filterskog kolača iz filtra i za odvođenje filterskog kolača u okolinu pod atmosferskim tlakom. Ipak i taj način odvođenja filterskog kolača iz kontinuiranih tlačnih filtera dosta otežava održavanje njihovog radnog režima.

Princip rada jednog suvremenijeg kontinuiranog tlačnog filtra s rotirajućim bubnjem, iz kojeg se filterski kolač izravno odvodi s pomoću strugača prikazan je na sl. 37. Bubanj ovog filtra



Sl. 37. Princip rada tlačnog kontinuiranog filtra s rotirajućim bubnjem. 1 Bubanj, 2 tlačno kućište, 3 razdjeljni elementi, 4 isto pod tlačom, 5, 6, 7, 8 zone filtriranja, ispiranje i odvođenje kolača, 9 komora, 10 cijev za odvod filtrata, 11 strugač

rotira u tlačnom kućištu. Prostor između bubnja i kućišta neprodušno je zatvoren brtvenicama. Podijeljen je u zone s pomoću razdjelnih elemenata po kojima klize pregrade komora. Na taj način zone ostaju odvojene jedna od druge usprkos rotaciji bubnja. U jednu od tih zona tlači se suspenzija, u drugu tekućina za ispiranje, a u treću komprimirani plin, pa se u komorama tokom njihovog prolaženja kroz te zone uzastopno formira, ispira i propuhuje filterski kolač. U zoni odvođenja filterskog kolača kućište je otvoreno, pa se ta zona nalazi pod atmosferskim tlakom. Kolač se tu skida protustrujom komprimiranog plina i strugačem, koji se tako odmiče od bubnja i njemu primiče da zahvata kolač u komorama. Filtrat, tekućina od ispiranja i komprimirani plin razvode se pri tome razvodnim sistemom analogne konstrukcije kao kod vakuumskih filtera s rotirajućim bubnjem.

Uz veće brzine filtriranja prednosti tlačnih pred vakuumskim filterima s rotirajućim bubnjevima još su njihova upotrebljivost za filtraciju na temperaturama sve do blizu vrelišta, bez gubitaka para i posebno za filtriranje lakotopljaljivih tekućina. Primjenu im ograničavaju visoka nabavna cijena i teškoće pri eksploataciji.

#### Dubinski filtri

O dubinskim filterima govorit će se kad se tokom filtriranja na njihovim filterskim površinama ne nakuplja vidljiva količina filterskog kolača, bilo zbog toga što su čestice čvrste tvari koja se pri tome uklanja iz suspenzije toliko male da se izdvajaju samo u unutrašnjosti filterskog sredstva, bilo zbog toga što je sadržaj te tvari u suspenziji vrlo mali. To je općenito kad suspenzija ne sadrži više od 0,1% čvrste tvari i kad se veličina čestica te tvari nalazi unutar granica od 0,01 do 100  $\mu\text{m}$ . Doduše i većina se dosad opisanih filtera može upotrijebiti za filtraciju i u tim slučajevima. Međutim, njihova upotreba za te svrhe obično je neekonomična, pa se pojam dubinskih filtera ograničava na filtre specijalne konstrukcije.

Budući da je to područje filtriranja mnogo uže nego područje filtriranja s kolačem i dubinski filtri općenito se manje upotrebljavaju nego filtri s kolačem. Njihovo područje upotrebe poglavito je bistrenje pića i vode, farmaceutskih preparata, ulja za loženje

## FILTRACIJA

i podmazivanje, otopina za elektroplatiranje, otapala za kemijsko čišćenje i otopina iz kojih se ispredaju sintetska vlakna.

Mogu se podijeliti na dubinske disk-filtre, dubinske filtarske preše, dubinske filtre s predsljem, rubne filtre i filtre s patronama.

**Dubinski disk-filtri** većinom su tlačni filtri kojima su glavni dijelovi diskovi od azbestnog ili celuloznog materijala postavljeni u slog kao na sl. 38, ili s pločama među pojedinim diskovima, uložen u neprodušno kućište. Ovaj slog komprimira se stezanjem poklopcom kućišta, tako da tekućina, pod utjecajem tlaka pod kojim se suspenzija dovodi u prostor između sloga i kućišta, može protjecati u centralno smješteni odvod filtrata samo kroz materijal diskova.

Postoje i izvedbe dubinskih disk-filtara i sa središnjim dovodom suspenzije i perifernim odvodom filtrata, također i vakuumske.

**Dubinske filtarske preše** modifikacije su filtarskih preša u kojima praktički nema slobodnog prostora za formiranje filtarskog kolača. Za filtarska sredstva u ovim filtrima poglavito služe listovi od papira ili azbesta. Osim toga među ploče ovih filtera ponekad se ulažu i sita ili tanki okviri. Rade slično kao i ostale filtarske preše. I obične se filtarske preše s vrlo tankim okvirima ponekad upotrebljavaju kao dubinski filtri.

**Dubinski filtri s predsljem** mogu imati lisnate ili cijevne filtarske elemente. Takvi filtri ustvari razlikuju se od tlačnih lisnatih, odnosno cijevnih filtera samo namjenom. Za predsloj se ovdje upotrebljavaju različita pomoćna filtarska sredstva, najviše dijatomejska zemlja. Ponekad se, naročito kad su čestice čvrste tvari suspenzije želatinozne ili ljepljive, pri filtriranju u ovim filtrima suspenziji dodaju dalje količine pomoćnog filtarskog sredstva.

Kako se filtarsko sredstvo lako skida s listova, odnosno cijevi ovih filtera, mnogi njihovi, naročito noviji, tipovi imaju uređaje za skidanje iskoristenog filtarskog sredstva i njegovo odvodenje bez otvaranja filtra. To se izvodi na različite načine, npr. spiranjem, odbacivanjem komprimiranim zrakom, vibriranjem, djelovanjem centrifugalne sile.

**Rubni filtri** također su tlačni filtri, ali se principom rada sasvim razlikuju od svih dosad opisanih tipova filtera. Konstrukcija jednog takvog filtra shematski je prikazana na sl. 39. Njegov glavni dio jest slog jedinih od drugih točno distanciranih metalnih lamela (npr. s pomoću posebnih pločica), koje imaju rupe oblike sektora. Suspenzija se tlači u prostor između lamela i kućišta tako da njena tekućina mora strujati kroz prostore među lamelama. Pri tome se na rubovima lamela zadržavaju čestice čvrste tvari suspenzije kojima su dimenzije tolike da kroz te prostore ne mogu proći. (Odatle naziv rubni filtri. Ovakvim filtrima uspijeva odvajanje čestica čvrste tvari do minimalne veličine od 25 µm.) Filtrat se odvodi kroz kanale koji se formiraju od rupa u lamelama i dalje kroz priključak za odvod. Kad se na rubovima lamela sakupi toliko čvrste tvari da se protok uspori, filter se čisti zakre-

tanjem sloga. Pri tome slog nepomičnih strugača skida nakupljenu čvrstu tvar s rubova lamela. Ona se kao mulj ispušta u posebnu prihvatnu posudu koja se može povremeno prazniti.

Postoje i izvedbe rubnih filtera s automatskim čišćenjem i odvodenjem izdvojenog mulja, a i s lamelama od drugih materijala. Rubni filteri obično se izravno ugrađuju u cijevne linije za transport tekućina, pri kojemu ujedno treba spriječiti da na odredište dospiju eventualno suspendirane čvrste tvari, npr. u tlačne linije pumpi sistema za podmazivanje.

Filtri s patronama razlikuju se od cijevnih filtera samo time što su njihovi filtarski elementi (patrone, ponekad zvane svjećama) od dovoljno jeftinog materijala da se, pošto se njihove pore začepi česticama čvrste tvari suspenzije, mogu jednostavno odbaciti i zamijeniti novima. Obično su te patronne troslojne: od perforiranog lima i potpornog tkiva, kao podloge, i različitih filtarskih sredstava (npr. tkanina, papira, pusta).

Izgled zavješnih glatkih patrona jednog takvog filtra prikazan je na sl. 40. Postoje i patrone kojima je filtarska površina povećana upotrebom naboranog filtarskog sredstva. Filteri s patronama najviše se upotrebljavaju u kemijskoj industriji, također kad treba spriječiti dolazak eventualno suspendiranih čvrstih tvari (npr. čvrstih produkata korozije materijala aparature) na odredište pri transportu tekućina cijevnim vodovima.

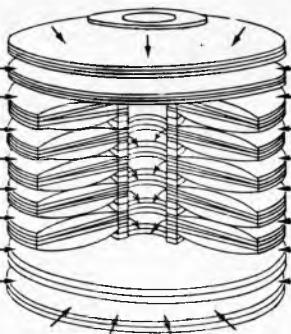
### Izbor filtera

Budući da mnogi faktori utječu na provedbu filtracije i da postoji niz filtera sličnih performansi, izbor filtra vrlo je složen zadatak. Obično se smatra da se moraju poznavati: karakteristike suspenzije, razina proizvodnje, uvjeti odvijanja procesa, konstrukcijski materijali. Međutim, ti faktori nikada nisu svi jednak važni. Obično su najvažnije karakteristike suspenzije, na prvom mjestu njena koncentracija, pa brzina sedimentacije čestica čvrste tvari u njoj, brzina stvaranja filtarskog kolača, brzina protjecanja filtrata (brzina filtriranja) itd. S tih gledišta suspenzije se grubo mogu podijeliti u pet grupa. Za svaku od tih grupa mogu se dati temeljne smjernice za izbor filtra.

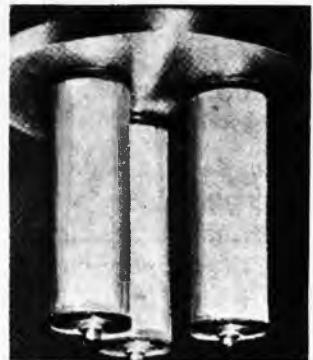
Prvu od tih skupina čine suspenzije koje se obično susreću u preradi mineralnih sirovina, a sadrže iznad 20% čvrste tvari u kristalnom obliku. Takve suspenzije teško je održavati jednoljčinama, jer čestice njihove čvrste tvari brzo sedimentiraju. Međutim, brzo se filtriraju i stvaraju debeli filtarski kolač u nekoliko sekundi. Obično se filtriraju jednokomornim, ili u posebnim slučajevima višekomornim filtarskim bubnjevima. Kad je proizvodnja velika, za filtriranje tih suspenzija upotrebljavaju se vakuumski filteri s beskrnjom trakom, a kad je mala, vakuumske nuće. Međutim, pri rješavanju problema odvajanja čvrste od tekuće tvari tih suspenzija treba imati na umu i to da je često povoljnije to izvesti nekom drugom operacijom separacije ili kombinacijom s njome, npr. taloženjem (v. Sedimentiranje i dekantiranje) ili kombinacijom taloženja i filtriranja.

U drugu skupinu ubrajaju se suspenzije kojima je koncentracija čvrste tvari između 10 i 20% i u kojima se jednolika raspodjela veličine čestica te tvari može održavati blagim miješanjem. (Najvažnije suspenzije te vrste jesu suspenzije soli.) Ako se radi o većoj proizvodnji, takve se suspenzije filtriraju višekomornim filtarskim bubnjevima, a ako je proizvodnja manja, na vakuumskim nučama ili diskontinuiranim tlačnim filterima.

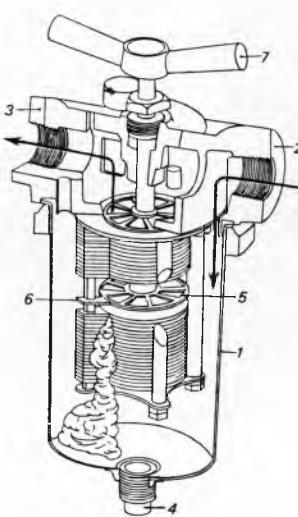
Treću skupinu čine suspenzije s koncentracijom čvrste tvari ispod 10% (obično između 5 i 10%), koje se teško filtriraju (npr. suspenzije pigmenata). Filtriranje takvih suspenzija redovito nije opravданo izvoditi s pomoću kontinuiranih filtera, jer su filtarski kolači koji se pri tome dobijaju tanki i teško se skidaju. U ovim slučajevima najviše se upotrebljavaju okvirne filtarske preše. Upotreba filtarskih bubnjeva dolazi u obzir tamo gdje je potrebno dobro ispiranje filtarskog kolača.



Sl. 38. Prinzip djelovanja sloga diskova u jednom disk-filtru bistriku



Sl. 40. Filtarski element s patronama



Sl. 39. Konstrukcija rubnog filtra.  
1. Tlačno kućište, 2 priključak za dovod suspenzije, 3 priključak za odvod filtrata, 4 priključak za ispuštanje čvrste tvari, 5 lamela, 6 strugači, 7 ručka za okretanje sloga lamela

Četvrtu skupinu čine suspenzije sa sadržajem čvrste tvari između 0,1 i 5% (razrijedene suspenzije) pri filtriranju kojih se ne pojavljuju problemi povezani sa sedimentacijom, ali se filterski kolač formira presporo da bi se filtriranje moglo racionalno izvesti s pomoću kontinuiranih filtera. Koji će se tip kontinuiranih filtera upotrijebiti ovisi o tome kolika je proizvodnja, kakve su karakteristike čvrste tvari suspenzije i kakvo je ispiranje potrebno.

Petu skupinu čine suspenzije sa sadržajem čvrste tvari ispod 0,1%. Filtriranje ovih suspenzija tipično je područje primjene dubinskih filtera. Za izbor filtra naročito je važan viskozitet tekuće i veličina čestica čvrste tvari suspenzije. Za filtriranje kad su te tekućine viskozne, a čestice čvrste tvari razmjerne velike, mnogo se upotrebljavaju filter-preše i rubni filtri. U obrnutom slučaju, kad se radi o malim viskozitetima i vrlo sitnim česticama čvrste tvari, upotrebljavaju se diskontinuirani filtri s predlošjem. Kad je proizvodnja velika, za filtriranje ovih suspenzija može biti pogodna upotreba vakuumskih filtera i tlačnih kontinuiranih filtera.

Uvjeti odvijanja procesa mogu isključiti upotrebu nekih vrsta filtera. Jedan od takvih uvjeta je npr. hlapljivost tekućine suspenzije. Kako je već spomenuto, ona isključuje upotrebu vakuumskih filtera i diktira primjenu ili kontinuiranih tlačnih filtera, ili, ako ekonomski računica ne dopušta visoke troškove eksploatacije povezane s tim uređajima, manje efikasnih diskontinuiranih tlačnih filtera.

Takoder je vrlo važno da su konstrukcijski materijali bar dijelova filtera koji su u kontaktu s tvarima u preradi dovoljno otporni prema sastojcima tih tvari.

#### Filtarska i pomoćna filtarska sredstva

**Filtarsko sredstvo** često je presudno za osiguranje zadovoljavajućeg rada filtra. Zbog toga je izbor prikladnog filterskog sredstva vrlo važan zadatak koji treba ispravno riješiti da bi se u određenom slučaju filtriranja postigao primjereni uspjeh.

Kao uzor pri izboru za određeni slučaj najpovoljnijeg filterskog sredstva može poslužiti model idealiziranog filterskog sredstva od materijala koji ne postoji, a ima niz zamišljenih svojstava: ne pruža nikakav otpor strujanju, njegove pore se nimalo ne začpljuju, omogućava dobijanje filtrata savršene čistoće i sasvim nesmetano uklanjanje filterskog kolača i potpuno je otporno prema djelovanju agresivnih kemikalija, tlaka i drugih mehaničkih utjecaja. Pored toga idealno filtersko sredstvo trebalo bi imati i minimalnu cijenu.

Međutim, često se dogada da se ni izborom najpovoljnijeg materijala ne mogu na zadovoljavajući način riješiti problemi filtriranja povezani s djelovanjem filterskog sredstva. Takve poteškoće redovito se pojavljuju pri filtriranju suspenzija s vrlo finim i ili želatinoznim, i ili kompresibilnim česticama čvrste tvari. Te čestice mogu prodirati u filtrat, odnosno brzo oblagati ili začpljavati pore filterskog sredstva, što ima za posljedicu mutan filtrat, odnosno brzo smanjivanje brzine filtriranja ili čak prestanak filtriranja. Svi ti problemi obično se mogu bar djelomično riješiti primjenom pomoćnih filterskih sredstava.

**Pomoćno filtersko sredstvo.** Pod tim nazivom razumijevaju se inertni materijali cd kojih se na filterskom sredstvu s razmjerno grubim porama može formirati vrlo porozan filterski kolač (od dobrog pomoćnog filterskog sredstva može se formirati filterski kolač sa 85...90% pora po volumenu), tako da mu je propusnost za filtrat velika i da se u njemu može odvojiti razmjerne velika količina čvrste tvari suspenzije, a da protok kroz njegov sloj ostane i dalje dovoljno velik.

Osim toga dobro pomoćno filtersko sredstvo mora imati i niz drugih svojstava. Zbog toga što je otpor strujanju kroz njegov sloj uglavnom posljedica trenja o površine njegovih čestica, njegova specifična površina mora biti dovoljno mala. Budući da kanali koji se formiraju u sloju od pomoćnog filterskog sredstva pružaju prevelik otpor strujanju kad su čestice vrlo sitne, obrnuto, da su previše propusni kad su čestice krupne, za filtriranje u određenom slučaju potrebitno je da raspodjela veličina čestica pomoćnog filterskog sredstva bude povoljna. Pri filtriranju na filterskim sredstvima s većim porama pomoćno filtersko sredstvo mora sadržavati čestice od kojih se može formirati predlošak. Iz tih razloga pojedina pomoćna filterska sredstva proizvode se s različitim stupnjevima disperznosti.

Pomoćna filterska sredstva upotrebljavaju se na različite načine. Najjednostavnije je da se pomoćno filtersko sredstvo prije filtriranja jednostavno razmuli u suspenziji. Drugi je način filtracija s predlošjem, pri kojoj se prethodno filtrira suspenzija pomoćnog filterskog sredstva dok se od njega ne formira razmjerne debeli filterski kolač. Dalji je način da se, da bi se od početka dobio bistar filtrat, najprije formira razmjerne tanki predlošak, a zatim filtrira uz stalno dodavanje pomoćnog filterskog sredstva suspenziji.

**Izbor filterskih i pomoćnih filterskih sredstava.** Filterska se sredstva mogu podijeliti na kruta i savitljiva. Prva se mogu dalje dijeliti na rastresita i kompaktna, a druga na tekstilna tkana, sredstva od netkanih tekstilnih vlakana, sredstva istkana od metalnih žica ili od mineralnih vlakana. Najpoznatija pomoćna filterska sredstva jesu dijatomejska zemlja i perlit, ali se upotrebljavaju i mnoga druga, npr. celuloza, azbest.

**Rastresita kruta filterska sredstva** sastoje se od krutih čvrstih čestica koje nisu u neprestanom dodiru jedna s drugom susjednom. Jeftina su i jednostavno se čiste pregrupiranjem čestica. Protok kroz ova filterska sredstva može se vrlo dobro podesiti izborom pogodnog oblika i veličine čestica. Nedostatak im je što se mogu upotrebljavati samo na vodoravnim filterskim površinama i što se s njih ne mogu uklanjati deblje naslage filterskog kolača, a da pri tome ne dode do razaranja filterskog sloja. Od svih filterskih sredstava najviše se upotrebljavaju pjesak i šljunak (pri čišćenju vode). U prodaji se nalazi kvarcni pjesak s različitim, standardiziranim veličinama čestica prilagođenim različitim tipovima uređaja i zahtjevima procesa. Šljunak obično služi kao nosač sloja pjeska, ali se često upotrebljava i kao samostalno filtersko sredstvo.

U nekim posebnim slučajevima kao filtersko sredstvo iz ove skupine upotrebljava se i dijatomejska zemlja, koja se inače smatra pomoćnim filterskim sredstvom. Druga poznata filterska sredstva iz ove skupine, koja su se nekada mnogo upotrebljavala, jesu ugljeni kako životinjskog tako i biljnog porijekla.

**Kompaktna kruta filterska sredstva** obuhvaćaju sva filterska sredstva kojima su čestice u stalnom, fiksnom dodiru jedna s drugom. Ova filterska sredstva često se upotrebljavaju i kao nosači filterskog sloja. To su npr. perforirane ploče. U kompaktna kruta filterska sredstva ubrajaju se i lamele rubnih filtera. Međutim, najvažnija vrsta ovih filterskih sredstava jesu fazličite porozne mase. Danas su porozne mase, koje se upotrebljavaju kao kruta filterska sredstva poglavitno materijali dobiveni različitim postupcima pečenja ili sinterovanja zrnastih sirovina kao što su silikagel, glina, kremen, korund, karborundum, staklo i različiti keramički materijali (npr. porcelan, šamot) i materijali na bazi ugljika (npr. koks, grafit). Zbog vrlo velike otpornosti prema djelovanju velikog broja agresivnih medija od tih se materijala najviše upotrebljavaju mase od korunda (npr. tzv. alundum, aloksit) i karborunduma. U novije vrijeme izraduju se i kruta filterska sredstva od metalnih poroznih masa, npr. od sinterovanog bakra, ljevanog željeza, čelika, nerđajućeg čelika, bronze, nikla, mjedi. Njihove su prednosti što su čvršća, pa su prikladna za upotrebu pod visokim radnim tlakovima, što se mogu lako čistiti i što su kemijski vrlo otporna. (Neka od njih mogu se upotrijebiti čak i za filtriranje vrućih jako alkaličnih suspenzija.) Zbog toga su vrlo važna za kemijsku industriju.

**Tkana tekstilna filterska sredstva** mogu biti od pamuka, sintetskih vlakana, vune, svile, lana, jute, a i od drugih tekstilnih materijala.

**Filtarska sredstva od pamučnih tkanina** najvažnija su filterska sredstva uopće. Prvenstveno je to zbog toga što su jeftina i što im se svojstva mogu varirati širokim izborom veza. Obično je vez pamučnih tkanina za filterska sredstva platneni ili keper (v. Desinatura tkanina, TE 3, str. 203). Tkanine s platnenim vezom imaju veću čvrstoću na istezanje i s njih se bolje skida filterski kolač. Tkanine s keper vezom propusnije su i manje se skupljaju u dodiru s vodom. Moć odvajanja čvrstog od tekućeg ovih vrsta pamučnih tkanina jest podjednaka. Pri tome je važan kvalitet prede od koje su tkanine izrađene. Općenito filterska sredstva od pamučnih tkanina dobro odvajaju čak i vrlo sitne čestice čvrste tvari suspenzije, tako da je i prvotok relativno bistar. Nedostaci filterskih sredstava od pamučnih tkanina jesu što ne pod-

nose ni jako kisele ni jako alkalične tekućine a ni više temperature. Filtarska sredstva od vunenih tkanina nekada su se mnogo upotrebljavala za filtriranje vrlo kiselih suspenzija. (Vijek trajanja filtarskih sredstava od vune pet puta je dulji od vijeka trajanja pamučnih filtarskih sredstava u tim uvjetima.)

*Filtarska sredstva od tkanina od sintetskog vlakna* u mnogim su slučajevima već zamjenila tkanine od prirodnih vlakana, jer imaju neka vrlo dobra svojstva: ne bubre, inertna su prema mnogim kiselinama i lužinama, a neka podnose vrlo visoku temperaturu; osim toga površina im je vrlo glatka, pa se filtarski kolač s njih lako skida.

Ponekad se filtarska sredstva od tkanih tekstilnih materijala izrađuju i od smjese prirodnih i sintetskih vlakana.

*Filtarska sredstva od netkanih vlakana* sastoje se od razmjernekratkih vlakana sasvim neuredno složenih u sloj i zatim na neki način u njemu učvršćeni. Zbog toga što nemaju gustih čvorišta koja bi ometala protjecanje, kao što je to u tkanim tekstilnim filtarskim sredstvima, pružaju manji otpor strujanju, pa su brzine filtriranja na njima veće. Veliki je nedostatak ovih filtarskih sredstava njihova mala čvrstoća. Zbog toga se i upotrebljavaju u razmjerne debelim slojevima. Prikladni su za dubinsko filtriranje. Od ovih materijala naročito se mnogo upotrebljavaju jastučići, odnosno diskovi od pamuka i ploče od različitih pustova dobivene prešanjem. Vrlo važno filtarsko sredstvo iz ove skupine je i papirna pulpa. Izvanredno dobro uklanja nečistoće i vrlo je propusna. Može se i razmerno lako čistiti, pri čemu je treba razmulfiti. U nekim slučajevima filtarska sredstva od vlaknatih materijala formiraju se od vlakana koja se dodaju suspenziji. Takve slojeve lakše je formirati na vodoravnim filtarskim površinama, ali se oni upotrebljavaju i na filtarskim bubnjevima i na lisnatim filtrima s okomitim listovima.

*Filtarska sredstva istkana od žica*, zvana još i metalnim, ustvari su žičana metalna sita. Već prema namjeni, prvenstveno s obzirom na karakter agresivnosti sastojaka suspenzija s kojima dolaze u dodir, izrađuju se od žica od različitih metala (npr. bronce, bakra, nikla, srebra, nerdajućeg čelika, specijalnih slitina). Također se izrađuju platnenim i keper vezom. Ponekad se izrađuju i tkanine od kombinacije žica s azbestnim vlaknima. Pri tome se teško postiže jednolikost veza, što, usprkos nekim izvanrednim svojstvima tih materijala, ograničava njihovu primjenu. Velike su prednosti filtarskih sredstava istkanih od žica njihova čvrstoća i, ako je vrsta njihovog materijala ispravno primjerena agresivnosti sastojaka suspenzije, njihova kemijska otpornost, zbog čega im je onda trajnost velika. Upotrebljavaju se i kao samostalna filtarska sredstva (najviše za filtriranje suspenzija s grubljim česticama čvrste tvari) i kao nosači drugih filtarskih i pomoćnih filtarskih sredstava.

*Filtarska sredstva istkana od mineralnih vlakana* obuhvataju azbestna i staklena tkiva. Općenito ova sredstva ne podnose djelovanje alkalnih sredina, osim razrijedenih i na običnim temperaturama. Nešto su otpornija prema djelovanju kiselina, izuzevši fluorovodičnu. Neotporna su i na abraziju i slabo su savitljiva.

*Dijatomejska zemlja* skoro je čisti silicijum-dioksid. Dobiva se od naslaga skeleta kremenjašica. Veličina joj je čestica  $\sim 50 \mu\text{m}$ . Dostupna je u različitim »stupnjevima« koji se razlikuju propusnošću u omjerima i do 1 : 20. Često se miješa s azbestnim vlaknima, aktivnom glinom ili aktivnim ugljenom. U tim slučajevima istovremeno djeluje i kao adsorbens.

*Perlit* je prirodno staklo, vulkanskog podrijetla. Po kemijskom sastavu uglavnom je silicijum-dioksid, a zatim aluminijum-oksid. Gustoća mu je veća od gustoće dijatomejske zemlje, a veličina čestica mu se nalazi u granicama od 50 do 150  $\mu\text{m}$ . Također se može dobiti u »stupnjevima« za koje se može reći da odgovaraju »stupnjevima« dijatomejske zemlje.

LIT.: A. Kufferath, Filtration und Filter, Berlin 1942. — G. D. Dickey, Filtration, New York 1961. — L. E. Browne, Filtration, u djelu: Kirk-Othmer, Encyclopedia of chemical technology, Vol. 9, New York 1966. — J. B. Pool, D. Doyle, Solid-liquid separations, London 1966. — F. M. Tiller, Chem. eng., 73 No. 13 (1966) 151. — B. A. Жужиков, Фильтрование, Ленинград 1968. — D. A. Blackadder, R. M. Nedderman, Handbook of unit operations, London 1971. — H. F. Porter, J. E. Flood, F. W. Renie, Chem. eng., 78 No. 4 (1971) 39. — C. Alt, Filtration, u djelu: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Weinheim 1972. — S. A. Miller, Filtration, u djelu: Perry i Chilton, Chemical engineers' handbook, New York 1973. — H. Robel, Filtration, u djelu: Lehrbuch der chemischen Verfahrenstechnik, Leipzig 1973.

M. Hraste

**FINOMEHANIČKA TEHNIKA** je znanstvenotehnička disciplina koja se kao grana strojarstva bavi izučavanjem, konstrukcijom i proizvodnjom finomehaničkih proizvoda (sastavnih dijelova, instrumenata, aparata i strojeva), kao i izborom i primjenom prikladnih tehnoloških postupaka. Dok se u strojogradnji radi s tokovima energije, u finomehaničkim uređajima obraduju se pretežno signali kojima se prema određenim zakonitostima prenose informacije. Finomehanička tehnika u užem smislu bavi se samo obradom signala koji se prenose mehaničkim veličinama, dok finomehanička tehnika u širem smislu obuhvaća i obradu signala koji se prenose bilo kojom drugom fizikalnom veličinom, npr. električnom, akustičkom ili toplinskom. Proizvod je finomehanički ako ima barem jedno od ovih svojstava:

ako je relativno malih dimenzija, pa su troškovi materijala u cijeni proizvoda bitno manji od troškova izrade;

ako je proizvod predviđen da olakšava umni rad čovjeka (npr. računala) ili nadomješta i objektivizira ljudska osjetila (npr. mjerni instrumenti), ili prostorno i vremenski proširuje domet meduljudskog saobraćanja (npr. telekomunikacijski uređaji);

ako mjerilo dobrote proizvoda nije kao u strojogradnji stupanj djelovanja, tj. odnos ulazne i izlazne snage, već ako kao kriterij služi ocjena da li se između izlaznih i ulaznih veličina održava odnos koji je predviđen zakonima obrade.

Svojstva finomehaničkog proizvoda zahtijevaju poseban pristup konstrukciji i tehnologiji proizvodnje. Prema praktičnim tržišnim kriterijima, finomehanički proizvodi se dijele na ove grupe: uredski finomehanički proizvodi i računala; mjerni, upravljački i regulacijski proizvodi; telekomunikacijski proizvodi, proizvodi akustičke tehnike, neki proizvodi medicinske tehnike, konfekcijski strojevi; trgovачki automati, neki proizvodi bijele tehnike i igračke.

Finomehanički proizvodi grade se često uz primjenu više znanstvenih disciplina: mehanike, akustike, automatike, elektrotehnike, elektronike, fluidike, kemije, optike i termodinamike. Znanstvena interdisciplinarnost je bitno obilježje finomehaničke tehnike. Tradicionalna podjela tehnike na elektrotehniku, strojarstvo itd., ima svoj odraz u neuspjeloj podjeli finomehaničke tehnike na mehaničku, optičku, elektroničku itd. Ova podjela je neodrživa, jer se najuspješniji finomehanički proizvodi grade uz istovremenu primjenu više znanstvenotehničkih disciplina. To, međutim, znatno otežava profiliranje stručnih kadrova za finomehaničku tehniku.

Tržišnopropozivodnoj podjeli finomehaničke tehnike pridružuje se znanstvenotehnička prema kojoj se finomehanička tehnika dijeli na: informacijsko-mjernu tehniku, tehniku automatskog upravljanja, računsku tehniku, giroskopsko-navigacijsku tehniku, finu mehaniku (preciznu mehaniku), elektroničku finomehaničku tehniku, optičko-elektroničku finomehaničku tehniku, toplinski finomehaničku tehniku i na finomehaničku tehnologiju.

Ne postoje značajni podaci o razvoju finomehaničke tehnike do XVII st. Ipak je poznato da su već u XIII st. proizvedene naočari i mehanički satovi s pogonskim utezima i regulacijom pomoću nemirnice. Kraјem XVI st. u Nizozemskoj počinju se izradivati prvi teleskopi i mikroskopi. Prvi računski stroj izrađen je 1623 u Stuttgartu. Godine 1657 patentirao je Christian Huygens uru njihalicu, a John Harrison je konstruirao kronometar 1761. Daniel Fahrenheit je 1714 načinio termometar s vinskom žestom, kasnije sa životinjom. Nešto prije 1713 izumljen je pomorski sekstant. U XVII st. izumljeni su još higroskop, anemometar, barometar i mikrometar, a nešto kasnije u XVIII st. vaga s ostrobridnim mostićem. Očigledno je da je suvremeni razvoj finomehaničke tehnike započeo tek u XVII st., stoljeću genija, kada je utemeljeno moderno društvo.

#### TEORIJSKE OSNOVE

**Fizikalni sustav.** Finomehanički proizvodi svrstavaju se u tri grupe: u strojeve koji pretvaraju jedan oblik energije u drugi ili u rad; u sprave koje prenose i transformiraju sile i u pribore koji prenose i transformiraju gibanje.

Svaki proizvod, bilo koje navedene grupe, sastoji se od dijelova između kojih postoji uzajamno djelovanje. Dijelovi-komponente između kojih postoji interakcija sačinjavaju sustav. Stanje sustava ovisi o stanju komponenata i strukturi sustava, oblikuje se djelovanjem vanjskih sila.

Finomehanički proizvodi su realni fizikalni sustavi. Njihovo stanje je posljedica tokova mase i energije kako unutar sustava tako i između sustava i okoline. Na sl. 1. predložena je shema su-