

Pod utjecajem ultraljubičastog zračenja luminescentne tvari daju efekte koji se primjenjuju pri dekoraciji, u scenografiji i pri čitanju nevidljivih luminescentnih oznaka na rublju u čistionicama. Prirodni zubi luminesciraju bljedomodro pod utjecajem ultraljubičastog zračenja.

**Luminescencijska rasvjeta.** Luminescentne tvari se naveliko primjenjuju u rasvjeti. Tako npr. u visokotlačnim živinim sijalicama u izboju je dominantna emisija na kraćim valnim dužinama, pa se upotrebom optičkih filtara može dobiti samo ultraljubičasto zračenje. Ako se baloni takvih sijalica premažu fluorescentnim premazom koji pod djelovanjem ultraljubičastog zračenja svijetli crveno, poboljša se vidljivi dio spektra sijalice.

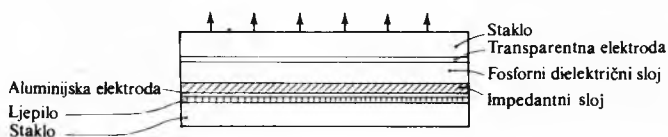
Osim već spomenutog luminescentnog premaza za fluorescentne cijevi ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{Sb} \cdot \text{Mn}$ ), koji daje približno bijelo svjetlo i koji je neotrovan, upotrebljavaju se još slijedeći:  $\text{Mg}_2\text{WO}_6$  sa svjetlomodrom emisijom,  $(\text{Zn} \cdot \text{Be})_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mn}$  s narančastožutom emisijom,  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mn}$  sa zelenom emisijom,  $\text{CdSiO}_3 \cdot \text{Mn}$  s narančastocrvenom emisijom. Svjetiljke prekrivene spojevima kao što je npr.  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Tl}$  uz maksimum emisije na 330 nm upotrebljavaju se za umjetno sunčanje.

**Luminescentni zastori.** Spojevi koji se nanašaju na zastore katodnih cijevi u radarima i osciloskopima jesu standardizirani i označeni slovom P. Takav je spoj  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mn}$  (oznaka P1) koji daje na zastoru zelenu emisiju. Često se upotrebljava i spoj  $\text{ZnS} \cdot \text{Ag}$  sa  $(\text{Zn}, \text{Cd})\text{S} \cdot \text{Cu}$  (oznaka P7) kojim se postiže brzo gašenje modre emisije pogodne za fotografsko snimanje i polagano gašenje zelene emisije pogodne za vizuelno promatranje. Osobito je vizuelno promatranje prikladno pri sporom gibanju zrake, kao na radaru i osciloskopu. Za crno-bijele TV-kineskope upotrebljavaju se modro i žuto emitirajući spojevi, kojih kombinacija daje emisiju u bijelom. Kombiniraju se  $\text{ZnS} \cdot \text{Ag}$  i  $\text{ZnS} \cdot \text{CdS} \cdot \text{Ag}$ . Za kolor-kineskope upotrebljavaju se tri spoja, za modro, crveno i zeleno emitiranje. Primjer kombinacije jest:



U elektrooptičkim cijevima za dobivanje slike također se upotrebljavaju luminescentni zastori. Ako uređaj pretvara infracrvenu sliku u vidljivu, cijev se naziva pretvaračem slike. Pretvarači slike upotrebljavaju se za noćno gledanje (v. *Infracrveno zračenje*, TE 6, str. 478). Primjenjuju se također u mikroskopiji objekata koji bi se mogli oštetiti vidljivim zračenjem. Ako se želi pojačati svjetlina slike bez promjene spektralnog područja, upotrebljavaju se pojačala slike. Ona se mnogo upotrebljavaju u astronomiji.

Fosforescirajući spojevi primjenjuju se u elektroluminescentnim pločama koje mogu poslužiti kao široki svjetlosni izvori srednje jakosti. Spoj, obično cink-sulfid ili selenid, raspršen je u transparentnom mediju i položen između dviju vodljivih elektroda od kojih je barem jedna transparentna (sl. 8).



Sl. 8. Shematski prikaz elektroluminescentne ploče

Ako između elektroda postoji napon, fosforescentni spoj daje jednoliku luminescentnu površinu. Ploče se upotrebljavaju kao ekran za prikazivanje alfa-numeričkih informacija na elektro-ničkim računalima. U pločama sastavljenim od guste mreže elektroda (na razmaku manjem od 1 mm) pobuđuje se izboj u plazmi. Elektroni pobuđuju luminescenciju fluorescentne tvari na anodi. Te se ploče mogu upotrijebiti kao kineskop za televizore u boji. Tada na anodi mogu biti tvari:  $\text{YVO}_4 \cdot \text{Eu}$ ,  $\text{Zn}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Mn}$  i  $\text{YVO}_4 \cdot \text{Pb}$  za dobivanje crvene, zelene i modre boje.

Fosforescentni zastori kao pojačala upotrebljavaju se u rendgenografiji, tako da se film obično ulaže između dva zasto-a tzv. folije.

**Geološka istraživanja.** Fotoluminescencija i katodoluminescencija mnogih minerala olakšava geološko ispitivanje, pri čemu služi prijenosni izvor svjetlosti koji omogućava neposredno proučavanje u sloju.

Ispitujući luminescenciju komada rude koja sadrži tragove nafte, postoji mogućnost procjene kvalitete nafte.

**Stimulirana luminescencija.** Elektroluminescencija PN-spojeva poluvodičkih materijala iskorištava se za dobivanje stimulirane emisije. Posebno je poznat GaAs-laser koji emitira lasersko zračenje u infracrvenom području, na 840 nm.

Za lasere s bojilom upotrebljavaju se luminescentne otopine organskih bojila, npr. otopina rodamina 6G u etanolu.

**Ostale primjene.** U kriminalistici luminescencijska analiza omogućava pronalaženje tragova krvi, te otkrivanje tekstova pisanih nevidljivom tintom. Također se uvodi metoda ispitivanja emitiranoj karakterističnog rendgenskog zračenja iz primjesa u tragovima sadržanih u uzorcima.

Metode su toliko osjetljive da su moguća i kvantitativna ispitivanja.

U paleontologiji fluorescentni snimci iskopina mnogo su bogatiji detaljima od običnih snimaka.

Novija je primjena luminescentnih tvari u solarnim elementima gdje luminescentni materijal povećava djelotvornost elemenata.

LIT.: H. W. Leverenz, An introduction to luminescence of solids. John Wiley and sons, New York 1950. — W. E. Barrow, Light. Photography and illuminating engineers. McGraw-Hill, New York 1951. — E. N. Harvey, A history of luminescence from the earliest times until 1900. The American Philosophical Society, Philadelphia 1957. — F. Ed. Williams, Nature of luminescent centres in alkali halide and zink sulphide phosphors. J. Opt. Soc. Am., vol. 47; New York 1957. — G. S. Landsberg, Opći kurs fizike, III (prijevod s ruskog). Naučna knjiga, Beograd 1967. — L. Levi, Applied optics; A guide to optical system design, vol. 1. John Wiley and sons, New York 1968. — R. S. Becker, Theory and interpretation of fluorescence and phosphorescence. Wiley Interscience, New York 1969. — N. Reihl, Einführung in die Lumineszenz. Karl Thieme KG, München 1971. — V. Valković, Trace element analysis. Taylor and Francis Ltd, London 1975. — W. H. Weber, J. Lambe, Appl. optics; Luminescent greenhouse collector for solar radiation. J. Opt. Soc. Am., vol. 15; New York 1975. — H. Ushiki, Y. Fukushima, Invited lectures (abstracts) XIII<sup>th</sup> Conf. Phen. Ion. Gases, Berlin (DDR) 1977.

V. Henč-Bartolić D. Soldo

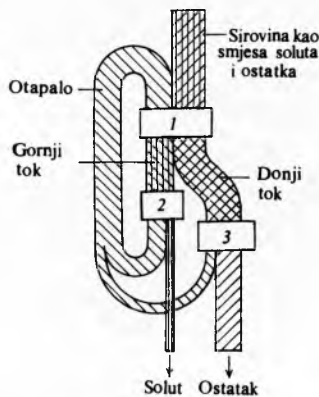
**LUŽENJE**, u užem smislu, operacija izdvajanja nekog sastojka (soluta) iz neke čvrste tvari (sirovine) kontaktom s otapalom koje ga otapa selektivno (ili barem dovoljno selektivno). U širem smislu luženje je proces koji osim toga obuhvaća i operacije pripreme sirovine za to, operacije razdvajanja otopine soluta (ili kratko otopine) od smjese ostatka čvrste tvari (ili jednostavno ostatka) i otapala, te na kraju soluta iz otopine i ostatka iz smjese s otapalom.

Pri tom treba razlikovati ostatak, kao tehnički proizvod, od netopljivog dijela sirovine, tzv. inerta, jer, strogo uzevši, tehničko luženje nije nikad potpuno. U luženju je prikladnije otopinu koja nije vezana za čvrstu tvar i smjesu čvrstih faza sustava s otapalom, odnosno otopinom, nazivati prema anglosaskoj terminologiji, gornjim, odnosno donjim tokom. Pri tom treba voditi računa o tome da se često i o otapalu govori kao o gornjem toku, a o sirovini kao donjem toku.

Zanemare li se priprema sirovine, načini otapanja, izdvajanja soluta iz gornjeg toka i razdvajanja ostatka i otapala iz donjeg toka, te gubici koji nastaju pri svemu tome, tako definirani proces u kontinualnoj izvedbi smije se prikazati shemom na sl. 1, gdje je tok otapala zatvoren. (Ta je slika procesa vrlo blizu gledišta vanjskog promatrača formirana za kratko vrijeme promatranja, jer mu se tada čini kao da od materijala u aparatu za izvođenje luženja ulazi samo struja sirovine, a izlaze struje soluta i ostatka.)

Osim otapanja samo fizikalnim procesima, u luženje se (u užem smislu) ubrajaju i mnogi procesi popraćeni kemijskim reakcijama, potrebnim da se supstancija koju treba izdvojiti, a koja nije topljiva, konvertira u solut (npr. pri hidrolizi drva, kuhanju celuloze, u brojnim metalurškim procesima izluživanja i raščinjavanja, brojnim procesima industrije pigmentata). Međutim, u ovom je članku opisivanje luženja nužno ograničeno na

procesu u kojima se pri formiranju otopine ne odvijaju kemijske reakcije, ili se one smiju zanemariti.



Sl. 1. Pojednostavljena shema luženja u širem smislu. 1 luženje u užem smislu, 2 razdvajanje soluta i otapala, 3 razdvajanje ostatka i otapala

Premda nema bitnijih načelnih razlika među procesima luženja u kojima se upotrebljavaju različita otapala, u praksi se procesi luženja u kojima se upotrebljavaju lako hlapljiva organska otapala izdvajaju pod nazivom ekstrakcije, ili, za razlikovanje od ekstrakcije iz kapljevine kapljevinom (v. *Ekstrakcija*, TE 3, str. 537), ekstrakcije iz čvrstog kapljevinom (ekstrakcije otapalom). Najvažniji su iz te skupine procesi ekstrakcije biljnih ulja (v. *Masti i ulja*, pogl. *Proizvodnja biljnih ulja*). Međutim, ni u tom nazivlju praksa nije dosljedna, jer se, npr., i izdvajanje šećera iz rezanaca šećerne repe i iz mliva šećerne trske također često naziva ekstrakcijom, iako se za to ne upotrebljavaju lako hlapljiva otapala, nego voda.

**Principi i uvjeti luženja.** Mehanizmi luženja vrlo malo zavise od fizikalnog stanja soluta. (To može biti neki kapljeviti spoj ili kapljevita otopina, ili čvrsta tvar kao i inert.) Mnogo su više zavisni od fizikalnog stanja sirovine i inerta, i od toga kako je solut u sirovini pomiješan s inertom. Tako je za mehanizam luženja u prvom redu važno da li se sirovina sastoji od kompaktnih, nepropusnih čestica (kao što je npr. neki kristalasti precipitat) ili od semipermeabilnog staničnog materijala (kao što su npr. biljne sirovine za proizvodnju ulja, drvo).

U prvom od ta dva slučaja luženje je obično brzo, jer je izvedivo otapanjem soluta u otapalu s kojim je sirovina u kontaktu bez znatnijeg utjecaja difuzije. Za to je potrebno samo da se otapanjem razara fizikalna struktura čestica sirovine, ili da je sirovina prethodno dovoljno fino granulirana i da se kontakt sirovine s otapalom učini dovoljno intenzivnim. Redovno se to ostvaruje miješanjem. Miješanje se radi luženja izvodi mehaničkim operacijama (v. *Miješanje*) ili suspendiranjem ubrizgavanjem zraka. (Nakon toga gornji se tok odvaja od donjeg toka sedimentacijom i dekantiranjem, filtriranjem ili centrifugiranjem.)

Pri luženju semipermeabilnih staničnih materijala u kojima je solut inkludiran u stanicama otapanje je više ili manje zavisno od difuzije, ali uvijek toliko da se ne može zanemariti njen utjecaj. Procesu su luženja te vrste najbrojniji. Među njima su također na prvom mjestu procesi ekstrakcije biljnih ulja.

Razvoj je ekstrakcije biljnih ulja najviše unaprijedio procesnu tehniku luženja, tako da su danas procesi i postrojenja za ekstrakciju biljnih ulja tipični za to područje. Zbog toga se i u ovom članku luženje promatra najviše s gledišta ekstrakcije ulja.

U takvim je procesima luženje u užem smislu manje ili više slično ispiranju filtarskog kolača na filterima (v. *Filtriranje*, TE 5, str. 398). Osobito su ispiranju na filterima slični postupci luženja u mirujućem sloju donjeg toka polijevanjem otapalom (*perkolacijom*, sl. 2a). Pri tom se u sloju donjeg toka odvijaju isti procesi kao i pri ispiranju na filteru, a nosač donjeg toka djeluje slično kao filtarsko sredstvo. Luženjem se perkolacijom obično samo izdvaja više soluta iz sirovine i mogu se znatnije mijenjati svojstva donjeg toka nego pri ispiranju filtarskog kolača na filteru.

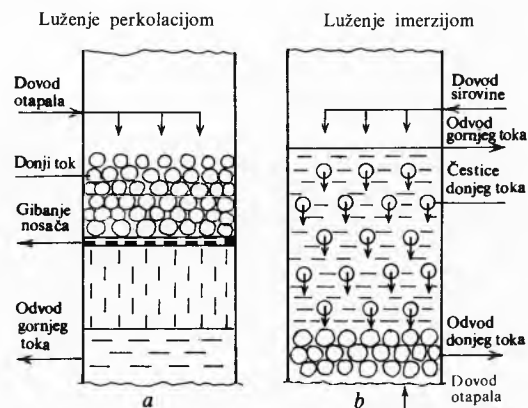
Za razliku od luženja perkolacijom, pri luženju se *imerzijom* (sl. 2b) čestice donjeg toka giblju kroz protustruju gornjeg toka.

Obično je to pretežno padanje pod utjecajem gravitacije u uzlaznoj struji gornjeg toka.

Postoje i kombinacije perkolacijskih i imerzijskih procesa luženja, tzv. perkolacijsko-imerzijski procesi. Kad se njihove perkolacijske i imerzijske komponente ne isprepliću, smiju se promatrati odvojeno.

Glavni zahtjevi koje treba zadovoljiti da se osigura ekonomičnost nekog industrijskog luženja u užem smislu jesu da se solut otapa što brže i što selektivnije, da se za otapanje utroši što manje otapala i da se dobije gornji tok što veće koncentracije. (Za luženje je u širem smislu važno još i to da se otapalo daje što lakše odvojiti od proizvoda.)

Za zadovoljenje prvoga od tih zahtjeva i permeabilne sirovine od staničnog tkiva u prvom redu moraju biti prikladno granulirane. Međutim, sitnjenje pri tom mora biti ograničeno, jer fino usitnjena sirovina uzrokuje niz problema u preradbi, osobito u perkolacijskim procesima (npr. preslabu propusnost sloja donjeg toka). Obično je, kako je to npr. u proizvodnji biljnih ulja ekstrakcijom, najprikladnije sitnjenje kojim se samo raskidaju stijenke stanica dovoljno da se ograniči utjecaj difuzije na otapanje soluta, a dimenzije se čestica sirovine smanjuju samo do mjere pri kojoj još uvijek stvaraju dovoljno porozan sloj.



Sl. 2. Temeljni principi luženja

Osim poroznosti sloja, važan su čimbenik permeabilnosti i brzine luženja tih sirovina i kapilare u njihovim česticama. Te kapilare omogućuju prodiranje otapala u unutrašnjost čestica, gdje se uspostavlja njegov glavni kontakt sa solutom. Prema jednoj teoriji, ograničujući je faktor brzine luženja difuzija soluta iz otopine u tim kapilarama u gornji tok, prema jednoj drugoj, brzina strujanja kroz kapilare. Postoji i teorija luženja prema kojoj na njegovu brzinu utječe i brzina otapanja soluta. Iz svih tih teorija slijedi da je brzina luženja to veća što je kraći put soluta iz unutrašnjosti čestica u gornji tok, tj. što su kraće kapilare.

Tako su, npr., u jednom ispitivanju brzine ekstrakcije biljnih ulja iz lamelizirane sirovine utvrđeni odnosi između masa ulja u sirovini  $m_{si}$  i iz nje dobivenih sačmi  $m_{sa}$ , koeficijenta difuzije  $D$  na temperaturi procesa koja se održavala stalnom, debljine  $L$  pahuljice sirovine i trajanja  $t$  procesa izrazom

$$\log \frac{m_{sa}}{m_{si}} = 0,0911 - 4,286 \frac{D}{L^2} t. \quad (1)$$

Iz tog se izraza lako može zaključiti da brzina difuzije veoma opada s rastom debljine lamela, a time i duljinom kapilara.

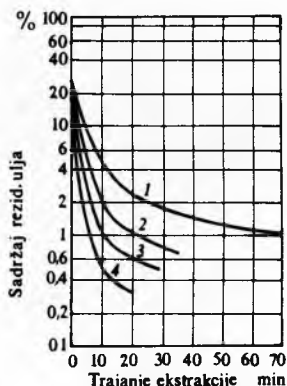
U dijelu procesa u kojem se ostvaruje glavni učinak ekstrakcije  $D$  je skoro konstanta. Obično na početku područja u kojem se nastavljanjem ekstrakcije sadržaj ulja sirovine smanjuje od ~5% dalje, izrazito postaje  $D = f(t)$ . Sve se više smanjuje s odmicanjem vremena. To se pripisuje promjeni mehanizma otapanja ulja: ulje iz stanica s raskidanim stijenkama otapa se u području linearne zavisnosti sadržaja ulja miscele (naziv otopine u ekstrakciji ulja) od vremena, a nakon toga prevladava otapanje difuzijom kroz neraskidane stijenke stanica. Ipak, to ne mijenja bitno već spomenuti zaključak.

Utjecaj duljine kanala u česticama sirovine na brzinu luženja vrlo se dobro očituje u proizvodnji sojina ulja ekstrakcijom iz lamelizirane sirovine (sl. 3), kad je duljina kanala manje-više proporcionalna debljini listića.

Sirovine vrlo finih čestica, koje su stoga protkane vrlo kratkim kapilarama, kao što su riblja brašna i neke biljne sirovine za proizvodnju ulja, ipak se teško luže perkolacijom zbog slabe

permeabilnosti sloja. Brzina luženja takvih sirovina može se povećati aglomeracijskom pripremom, npr. peletiranjem. Time se dobivaju granulati kojima su i čestice i njihovi slojevi dovoljno permeabilni da omogućuju normalan tok luženja.

Prema svim teorijama luženja, njegova se brzina povećava s temperaturom na kojoj se vodi, jer s rastom temperature opada viskozitet gornjeg toka, pa i otpor njegovu strujanju (time se olakšavaju i difuzija i perkolacija), a raste topljivost soluta. Međutim, tehničke su mogućnosti ubrzanja ekstrakcije povisivanjem temperature procesa ograničene nizom drugih činitelja, npr. svojstvima otapala (osobito njegovim vrelištem), nedopustivim promjenama ekstrakta ili inerta na temperaturama iznad neke granice.



Sl. 3. Međuzavisnost debljine pahuljica sirovine, trajanja ekstrakcije i sadržaja rezidualnog ulja sojine sačme uz upotrebu industrijskog heksana kao otapala. 1 pri debljini pahuljica 0,55 mm, 2 0,43 mm, 3 0,35 mm, 4 0,22 mm

Za ekonomičnost luženja, osobito u širem smislu, vrlo je važno da je masa otapala u donjem toku što manja, pa je u tehničkim aparaturnama za izvođenje luženja često potrebna zona ocjeđivanja tog toka na kraju.

Pri izboru je otapala za luženje njegova moć otapanja soluta svakako jedno od njegovih najvažnijih svojstava, jer što je ona veća, veća je i brzina luženja. Ipak, vrlo se često za luženje odabiru otapala kojima je moć otapanja soluta slabija nego moć nekih drugih, jer su im druga svojstva povoljnija. Jedno je od najvažnijih od tih svojstava selektivitet otapala u otapanju soluta, jer oština razdvajanja ekstrakta i inerta najviše zavisi od tog svojstva. O tome se može malo što općenito reći, jer je to svojstvo specifično za svaki slučaj. (Zavisi i od svojstava otapala, soluta i drugih sastojaka sirovine.)

Kao i općenito u procesima međufaznog transporta mase, i pri luženju se najbolja iskorišćenja sirovine i otapala, tj. maksimalni iscerpci soluta iz sirovine s minimalnim masama otapala i, zbog toga, maksimalne koncentracije soluta u gornjem toku, postižu provedbom procesa protustrujnim tokovima materijala.

Za ekonomičnost razdvajanja otapala od proizvoda luženja u širem smislu opet su važna svojstva otapala. Tako su, npr., najekonomičnije operacije razdvajanja otapala od ekstrakta i od ostatka u ekstrakcijskim procesima, jer su one izvodljive, razmjerno vrlo ekonomičnim, destilacijskim procesima.

**Procesne osnove luženja.** Slično kao i pri ekstrakciji kapljevine kapljevina (v. *Ekstrakcija*, TE 3, str. 537), i u osnovnom proračunavanju u procesima luženja zadovoljava predodžba sustava koji se procesira kao tvorevina od samo triju komponenata: inerta, soluta i otapala. Također se i klasifikacijski pristup tom proračunavanju malo razlikuje od pristupa proračunavanju u procesima ekstrakcije kapljevina kapljevina, jer i procesi luženja mogu biti stupnjeviti i s kontinualnim kontaktom faza.

Osnovni su proračuni aparature za procese s kontinualnim kontaktom faza u luženju i u ekstrakciji kapljevina kapljevina sasvim analogni. Razlike su proračunavanja u stupnjevitim procesima luženja i ekstrakcije kapljevina kapljevina manje-više metodološke, ali ipak dovoljne da učine proračune aparatura za luženje specifičnima.

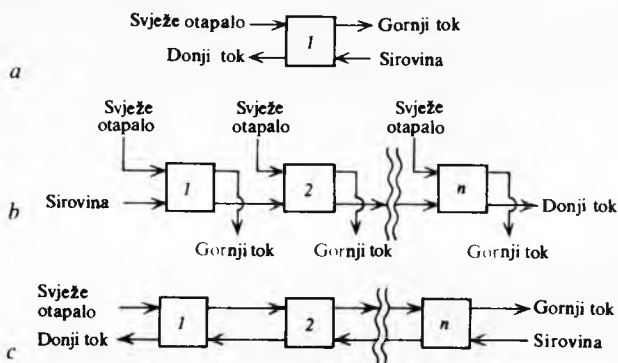
Stupnjeviti procesi luženja također mogu biti jednostepeni ili višestepeni (sl. 4). Najjednostavnije je jednostepeno luženje (sl. 4a), jer ima samo jedan stadij. Budući da se pri tom kontakt gornjeg i donjeg toka podupire miješanjem, u tom procesu nema nikakva karakterističnog odnosa među smjerovima gi-

banja tih tokova. (Nakon toga odvoji se gornji od donjeg toka jednom od već spomenutih operacija koje slijede luženje miješanjem.)

Međutim, u višestepenim su procesima luženja (procesima s više stadija) odnosi smjerova međusobnog relativnog gibanja tokova manje ili više određeni. S tog se gledišta oni svrstavaju u istosmjerne (sl. 4 b) i protusmjerne (sl. 4 c).

U prvom se stadiju istosmjernih procesa luženja ostvaruje kontakt tokova i zatim odvaja gornji od donjeg toka na jednaki način kao i u jednostepenom procesu. Zatim se donji tok podvrgava jednakim operacijama u drugom stadiju i dalje, do nekog stadija s rednim brojem  $n$ , s kojim se postiže zadovoljavajući rezultat. Zbog toga se istosmjerni višestepeni proces luženja smije promatrati kao niz jednostepenih procesa.

Za razliku od istosmjernih, u protustrujnim se višestepenim procesima luženja otapalo dovodi u kontakt s donjim tokom samo na izlasku tog toka iz posljednjeg stadija,  $n$ , a u ostalim stadijima, od  $(n - 1)$  do 1, donji je tok sve manje koncentracije u kontaktu s gornjim tokom sve veće koncentracije soluta. Gornji se tok konačne koncentracije dobiva na početku prvog stadija, gdje je u kontaktu sa sirovinom koja na tom mjestu ulazi u proces.



Sl. 4. Principi šaržnih procesa luženja. a) jednostepeno luženje; b) višestepeno luženje istostrujnim, c) protustrujnim gibanjem gornjeg i donjeg toka

Za proračun i dimenzioniranje aparature za luženje može biti potrebno odrediti odnose između željenih učinaka i za to potrebne mase otapala, te koliki je broj za to potrebnih teorijskih ili realnih stadija luženja. (Pod brojem se teorijskih stadija razumijeva broj teorijskih ravnotežnih, dakle idealiziranih stanja, potrebnih da se od zadanog stanja na početku dospije u željeno konačno stanje.) Za ta određivanja postoje i računski i grafički postupci.

**Računske osnove proračuna aparature za luženje.** Jednadžbe koje služe za prikazivanje odnosa među navedenim činiocima pri luženju izvedene su pod pretpostavkom da otopina u donjem toku svakog stadija ima jednaki sastav kao i u njegovu gornjem toku, te da je donji tok među stadijima konstantan, ili da je konstantan kvocijent mase otapala i inerta u njemu. Jedna je od tih jednadžbi izvedena za slučaj da je donji tok konstantan, a otapalo na ulazu u proces ne sadrži nimalo soluta:

$$\frac{1}{f} = 1 + a_n + a_n a + a_n a^2 + \dots + a_n a^{n-1}, \quad (2)$$

gdje je  $f$  omjer mase soluta u donjem toku na izlasku iz prvog stadija i mase soluta u donjem toku na ulasku u zadnji stadij (sirovini),  $n$  broj idealiziranih stadija,  $a$  omjer mase otopine u gornjem toku na izlasku iz stadija  $(n - 1)$  i otopine u donjem toku na izlasku iz prvog stadija, a  $a_n$  omjer mase otopine u gornjem toku na izlasku iz zadnjeg stadija i otopine donjeg toka na izlasku iz zadnjeg stadija.

Kad je među stadijima konstantan kvocijent masa otapala inerta, dobiva se izraz s vanjskim oblikom jednakim izrazu (2). Samo je u njemu namjesto  $a$  omjer  $a'$  mase otapala u gornjem toku na izlasku iz stadija  $(n - 1)$  i otapala u donjem toku na izlasku iz prvog stadija, a namjesto  $a_n$  omjer  $a'_n$  masa otopine gornjeg toka na izlasku iz zadnjeg stadija i donjeg toka na izlasku iz tog stadija.

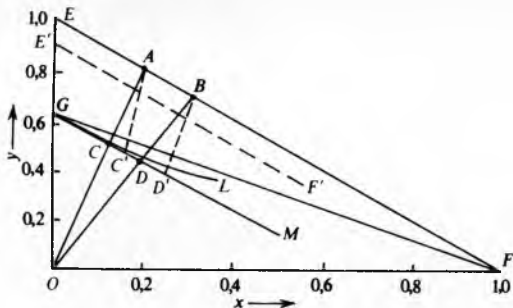
Izraz (2) osobito je prikladan za izračunavanje vrijednosti kvocijenta  $f$  kad je poznat broj teorijskih stadija i kad se raspolaze podacima za određivanje kvocijenata  $a$  i  $a_n$ , npr. o masi sirovine i njenom sastavu, masi otapala, sastavu donjeg toka među stadijima. (Iz dobivene se vrijednosti  $f$  tada lako mogu izračunati, npr., iscrpak soluta, sastav gornjeg i donjeg toka.) Međutim, za izračunavanje broja teorijskih stadija prikladnije su jednadžbe koje izravno prikazuju njegove odnose s koncentracijama. Jedan je od izraza te vrste izveden za konstantni donji tok ili konstantni kvocijent masa otopine i inerta

$$n - 1 = \frac{\log \frac{x_n - y_{n-1}}{x_i - y_u}}{\log \frac{x_n - x_i}{y_{n-1} - y_u}}, \quad (3)$$

gdje su sve vrijednosti na desnoj strani maseni udjeli soluta:  $x_n$  i  $x_i$  u otopini donjeg toka na izlasku iz stadija  $n$  i na izlasku (i) iz procesa, a  $y_{n-1}$  i  $y_u$  u otopini gornjeg toka na izlasku iz stadija  $(n - 1)$  i na ulasku (u) u proces.

Za konstantni kvocijent masa otapala i inerta izvediv je izraz s vanjskim oblikom jednakim obliku izraza (3), samo što u njemu vrijednosti na desnoj strani nisu maseni udjeli soluta u otopinama nego pripadni im kvocijenti masa soluta i otapala  $x'_n, x'_i, y'_{n-1}, y'_u$ .

Grafički postupci osnovnog proračuna aparature za luženje dosta su brojni. Obično se, namjesto metoda s koordinatama na stranicama istostraničnog trokuta (kao pri ekstrakciji kapljevine kapljevina), preferiraju metode s koordinatama na stranicama pravokutnog trokuta (sl. 5), jer one omogućuju nešto lakše uočavanje koncentracija.



Sl. 5. Dijagram sastava sustava pri luženju u koordinatama u pravokutnom trokutu

U tom su dijagramu na katetama točke masenih udjela soluta ( $x$ ) i otapala ( $y$ ) u sustavu (tako da su vrhovi  $E$  i  $F$  točke čistog otapala, odnosno čistog soluta). Hipotenuza spaja točke  $x = 1$  i  $y = 1$ , pa su na njoj točke sastava gornjeg toka, kad u njemu nema ni suspendiranog ni otopljenog inerta. Linije s točkama sastava gornjeg toka koji sadrži inert, bilo suspendiran, bilo otopljen zbog nepotpunog selektiviteta otapala, paralelne su s hipotenuzom i nešto ispod nje (npr. crtkana linija  $E'F'$ ). Na linijama koje izlaze iz neke točke na kateti ( $OE$ ) udjela otapala, npr.  $G$ , nalaze se točke sastava donjeg toka pod različitim uvjetima:  $GM$  kad je donji tok konstantan,  $GL$  kad je varijabilan,  $GF$  kad je u njemu stalan omjer masa otapala i inerta.

Kad je sav solut u otopini i kad je otopina u donjem toku jednakog sastava kao i u gornjem toku, linije su u dijagramu na sl. 5, kao što su  $AC, BD$ , spojne linije sastava otopina gornjeg i donjeg toka koje su u idealiziranoj ravnoteži. One se sijeku u vrhu  $O$  trokuta. Spojne su linije sastava u realnim stanjima otopina gornjeg i donjeg toka, npr.  $AC'$  i  $BD'$ , odmaknute od spojnih linija sastava u idealiziranim ravnotežnim stanjima, i to obično udesno (zbog toga što je koncentracija soluta u otopini gornjeg toka obično manja od njegove koncentracije u otopini donjeg toka).

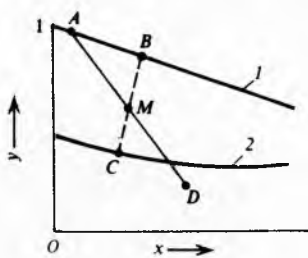
Razlike su koncentracija soluta u otopinama gornjeg i donjeg toka realnih, osobito industrijskih procesa luženja neizbježne, ne samo zbog toga da bi brzina procesa bila dovoljno velika već često i zbog preferencijalne adsorpcije neke komponente sustava na inertu.

Realne se spojne linije za grafičke proračune aparature za luženje dobivaju ispitivanjem uzoraka pod uvjetima kojima se simulira proces, osobito s obzirom na način vođenja, trajanje kontakta tokova, relativno gibanje gornjeg toka prema česticama donjeg toka i s obzirom na dimenzije tih čestica. Njihovim se produženjem ispod linije sastava donjeg toka dobivaju linije koje se također sijeku u jednoj točki.

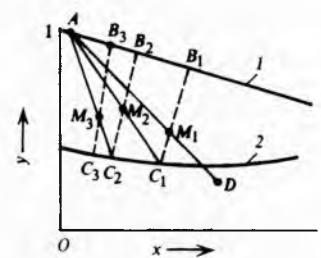
U dijagramu jednostepenog luženja (sl. 6)  $A$  i  $D$  su točke sastava gornjeg toka na ulasku u proces (to je otapalo koje sadrži malo soluta) i sirovine, pa linija  $AD$  mora prolaziti kroz točku  $M$  prosječnog sastava sustava. Položaj se te točke dobiva prema pravilu ravnoteže poluge iz izraza

$$\frac{AM}{MD} = \frac{m_s}{m_1}, \quad (4)$$

gdje je  $m_s$  masa sirovine, a  $m_1$  masa gornjeg toka koja ulazi u proces. Sjecišta  $B$  i  $C$  spojne linije provučene kroz  $M$  s linijama gornjeg i donjeg toka točke su sastava gornjeg i donjeg toka na izlasku iz procesa, pa se iz njihovih koordinata mogu izračunati svi potrebni podaci.

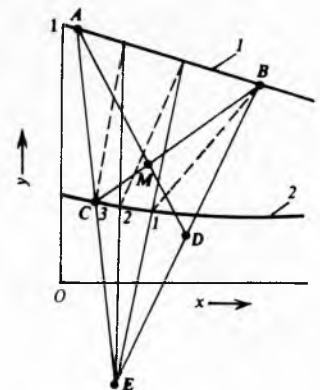


Sl. 6. Dijagram jednostepenog luženja u koordinatama na pravokutnom trokutu. 1 sastav gornjeg, 2 donjeg toka



Sl. 7. Dijagram unakrsnog višestepenog luženja u koordinatama na pravokutnom trokutu. 1 sastav gornjeg, 2 donjeg toka

U dijagramu unakrsnog luženja (sl. 7) točke  $A$  i  $D$  predstavljaju iste sastave, a točka  $M_1$  prosječnog sastava sustava u prvom stadiju dobiva se na isti način kao i točka  $M$  u dijagramu jednostepenog luženja. Sjecišta  $B_1$  i  $C_1$  spojne linije provučene kroz  $M_1$  s linijama gornjeg i donjeg toka točke su sastava gornjeg i donjeg toka koji izlaze iz prvog stadija procesa. Budući da se u drugom stadiju luži donji tok iz prvog stadija također svježim otapalom, linija  $AC_1$  mora prolaziti kroz točku  $M_2$  prosječnog sastava sustava u drugom stadiju. Položaji točaka  $M_2$ , pa  $B_2$  i  $C_2$ , te dalje sve do točaka  $M_n, B_n$  i  $C_n$  zadovoljavajućih sastava tokova u nekom  $n$ -tom stadiju, dobivaju se ponavljanjem istog postupka. Time je uz sastave tokova među stadijima i na kraju procesa određeni i broj stadija (teorijskih ili realnih, već prema tome da li su spojne linije teorijske ili realne).



Sl. 8. Dijagram protustrujnog višestepenog luženja u koordinatama na pravokutnom trokutu. 1 sastav gornjeg, 2 donjeg toka

Grafički je postupak proračuna broja stadija za protustrujno višestepeno luženje (sl. 8) analogan grafičkom postupku proračuna protustrujne višestepene ekstrakcije kapljevine kapljevina. Pri tom se, također, najprije fiksiraju točke krajnjih stanja:  $A$  sastava gornjeg toka na ulasku u proces i  $C$  sastava donjeg

toka koji je na tom mjestu s njim u kontaktu, ali izlazi iz procesa,  $B$  sastava gornjeg toka na izlasku iz procesa i  $D$  sastava sirovine koja je na tom mjestu s njime u kontaktu, ali ulazi u proces. (Položaj se točaka  $A$  i  $D$  određuje iz podataka analize otapala i sirovine, a točaka  $C$  i  $B$  iz rezultata već spomenutih eksperimenata simuliranja procesa.) Time je određena i točka  $M$  prosječnog sastava svih struja materijala sustava zajedno i operativna točka  $O$  sustava. Točka je  $M$ , naime, sjecište kontaktnih linija  $AD$  i  $BC$  ulaznih i izlaznih struja materijala, a točka  $E$  sjecište krajnjih operativnih linija  $AC$  i  $BD$ .

Položajem točke  $M$  određeni su važni podaci: potrebna masa otapala, izlazne mase gornjeg i donjeg toka, jer, prema pravilu ravnoteže poluge, slijedi iz dijagrama

$$\frac{AM}{MD} = \frac{m_{dtu}}{m_{gtu}}, \quad (5)$$

$$\frac{CM}{MB} = \frac{m_{gti}}{m_{dti}}, \quad (6)$$

gdje su  $m_{dtu}$ ,  $m_{gtu}$ ,  $m_{gti}$ ,  $m_{dti}$  mase donjeg i gornjeg toka na ulasku u proces i gornjeg i donjeg toka na izlasku iz procesa.

Određivanje je broja idealiziranih ili realnih stadija nakon toga vrlo jednostavno. Iz  $B$  se povuče (idealizirana odnosno realna) spojna linija, pa se dobije točka  $I$  sastava donjeg toka koji napušta prvi stadij. Kroz točku  $I$  povuče se operativna linija drugog stadija da se dobije točka sastava gornjeg toka koji napušta drugi stadij. Dalje se spojne i operativne linije konstruiraju na jednaki način, dok na kraju neka spojna linija ne dospje u točku  $C$ , ili ne prođe blizu te točke toliko da rezultat zadovoljava.

Ako je poznat broj stadija, a traži se jedna od krajnjih koncentracija, mora se upotrijebiti postupak pokušaja i greške.

#### APARATURE ZA LUŽENJE

Aparature za luženje, u užem smislu, mogu se svrstati prema namjeni (s obzirom na vrstu sirovine koja se procesira) i, dalje, prema tome da li je proces kontinualan ili šaržni, perkolacijski, imerzijski ili perkolacijsko-imerzijski, da li se izvodi hlapljivim organskim otapalom ili ne.

**Šaržni aparati** za luženje impermeabilnih sirovina mehaničke su miješalice, ili aparati za miješanje ubrizgavanjem zraka (injekcijske miješalice). Za kontinualno luženje tih sirovina služe centrifuge slične filtracijskim centrifugama (v. *Centrifugiranje*, TE 2, str. 590), gravitacijski ugušćivači ili njihove baterije.

Najobičniji su aparati za šaržno luženje permeabilnih sirovina, za koje se ne upotrebljavaju hlapljiva organska otapala, otvorene posude. I one se često sprežu u baterije za kontinualan rad. Za aparate za kontinualno luženje tih sirovina često služe klasifikatori s grabuljama (v. *Klasiranje*).

Najvažniji šaržni aparati za luženje s hlapljivim organskim otapalima jesu ekstrakcijski kotlovi i rotacijski ekstraktori. Sprezanjem ekstrakcijskih kotlova u baterije dobivaju se postrojenja, među ostalim poznata i kao difuzijske baterije, koja funkcioniraju skoro kontinualno.

Glavni su nedostaci šaržnih aparata i postrojenja za ekstrakciju u tome što su ograničenog kapaciteta, što im je proizvodnja intermitentna, što ne dopuštaju danas već potrebnu automatsku kontrolu procesa, ni iskorišćenje supara od odvajanja otapala iz donjeg toka za grijanje u postrojenju za destilaciju (odvajanje otapala iz gornjeg toka).

Kontinualni perkolacijski ekstraktori namijenjeni u prvom redu proizvodnji biljnih ulja čine najvažniju skupinu aparata za luženje hlapljivim organskim otapalima. Oni zadovoljavaju zahtjeve većine procesa luženja te vrsti. Za to je potrebno samo da sirovina dobro propušta otapalo. Prednosti su tih postrojenja u tome što su nepovoljni mehanički utjecaji na sirovine u njima minimalni, što sloj donjeg toka pri ekstrakciji u njima djeluje kao filtracijsko sredstvo, pa je minimalan i sadržaj njegovih finih čestica u gornjem toku, te što omogućuju dobivanje miscela s razmjerno velikim koncentracijama ulja, zbog čega su utrošci otapala i, kasnije, topline za destilaciju otapala i njihovih miscela razmjerno mali.

Međutim, neki se specifični procesi luženja permeabilnih sirovina hlapljivim organskim otapalima mogu dovoljno uspješno izvesti samo imerzijskim kontinualnim procesima. To su sirovine koje lako stvaraju slabo propusne slojeve (npr. različite klice, kao što su kukuruzne, pšenične, rižine). Nedostaci su tih postrojenja u tome što pri ekstrakciji u njima nema filtracijskog djelovanja sirovine, pa se dobivaju miscela koje se moraju temeljito filtrirati, te što su koncentracije ulja tih miscela razmjerno male, pa se za takvu ekstrakciju troši razmjerno mnogo otapala i, kasnije, topline za destilaciju otapala iz miscele. Prema novijim istraživanjima izgleda da su imerzijska postrojenja povoljnija za zadnje faze ekstrakcije, kad prevladava ekstrakcija uz difuziju kroz stijenke.

U posljednje je vrijeme sve više pokušaja da se kombiniraju prednosti perkolacijskih i imerzijskih kontinualnih procesa luženja, pa se pojavljuju različite konstrukcije perkolacijsko-imerzijskih aparata i postrojenja.

**Mehaničke miješalice za luženje** obično su aparati sa središnje postavljanim mješalima (v. *Miješanje*). Pri luženju tim miješalicama u kojem je ograničujući faktor brzine procesa topljivost soluta, brzina vrtnje mješala veoma utječe na rezultate. Izrazi su kojim se pokušavaju matematički opisati ti procesi različiti, već prema polazištima. Jedan od takvih, za luženje sa šestero-krilnim mješalima u posudama s odbojnicima, jest

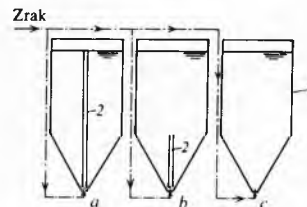
$$\frac{kd_p}{D_v} = 0,052 \left( \frac{d_m^2 n \rho}{\mu} \right)^{0,84} \left( \frac{\mu}{\rho d_v} \right)^{0,5}, \quad (7)$$

gdje je  $k$  koeficijent prijenosa mase,  $n$  brzina vrtnje mješala,  $d_p$  i  $d_m$  promjeri su posude i mješala,  $D_v$  je volumni koeficijent difuzije, a  $\rho$  i  $\mu$  su gustoća i viskozitet gornjeg toka.

Prema nekim autorima, pri takvu luženju povoljne su brzine vrtnje mješala između minimalnih, pri kojima je još uvijek suspendiran donji tok, i maksimalnih, prije nego suspenzija počne usisavati zrak zbog vrtoženja.

Međutim, pri luženju je u mehaničkim miješalicama, pri kojem je difuzija unutar čestica donjeg toka ograničujući faktor brzine procesa, utjecaj brzine vrtnje mješala malen ili nikakav. Tada je vrijeme zadržavanja donjeg toka u miješalici glavni činilac rezultata procesa, pa za to zadovoljava miješanje s minimalnom brzinom vrtnje (i zbog toga minimalnom snagom zagonskog sklopa) mješala, koja je još dovoljna za održavanje donjeg toka u suspenziji.

**Injekcijske miješalice za luženje** upotrebljavaju se u preradbi ruda nekih metala, osobito zlata i urana. Obično su to tzv. *pačuka-tankovi* (sl. 9). To su cilindrične posude s koničnim dnom. Najčešće imaju središnju cijev za vođenje zraka od mjesta ubrizgavanja u blizini dna sve do razine gornjeg toka. Struja zraka kroz tu cijev usisava suspenziju i vodi je kroz cijev velikom brzinom. Zrak se odvaja od suspenzije na njenoj razini, pa čestice donjeg toka stalno padaju kroz gornji tok pod utjecajem gravitacije.



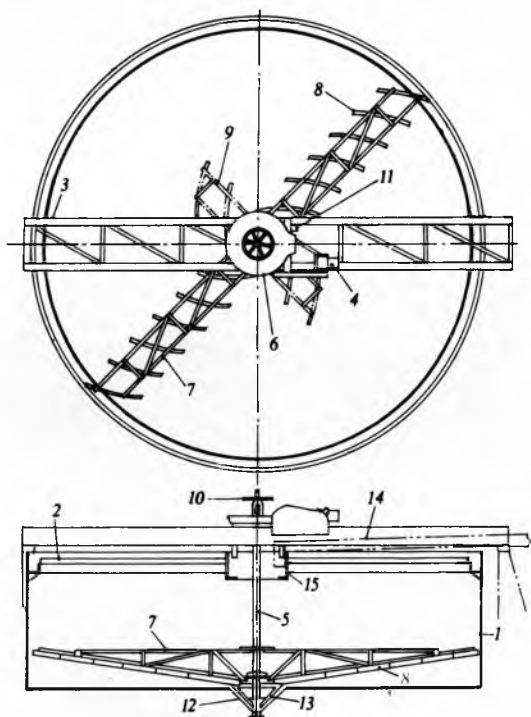
Sl. 9. Pačuka-tankovi  $a$  s punom,  $b$  s kratkom središnjom kolonom,  $c$  sa slobodnim gibanjem zraka,  $1$  stijenka posude,  $2$  cijev za vođenje ubrizganog zraka

Za neke su procese luženja te vrste povoljniji pačuka-tankovi s kratkom središnjom cijevi koja ne seže do razine gornjeg toka. Pačuka-tankovi sa slobodnim gibanjem zraka kroz suspenziju manje su povoljni za luženje.

**Kontinualni gravitacijski ugušćivači za luženje** zapravo su sedimentacijski aparati velikog kapaciteta, poznati i kao dekantatori, koji se najviše upotrebljavaju u preradbi mineralnih sirovina. Obično su cilindrični i velikog promjera (najčešće 20-40 m), a razmjerno male visine. Opskrbljeni su uređajima za hranjenje suspenzijom, velikim grabuljama koje rotiraju uz dno malom brzinom, te uređajima za odvođenje donjeg i gornjeg toka. Njihovi mnogobrojni tipovi najviše se razlikuju principom

nošenja i zagona grabulja, te oblikom dna (može biti ravno ili konično).

Najviše se upotrebljavaju dekantatori s ravnim dnom i zavješanjem grabulja i zagonaskog sklopa na nosačima (sl. 10). Zagonaski su im sklopovi spregnuti s vratilom grabulja pužnim ili zupčanim prijenosom. Imaju duge, dvokrilne grabulje, a često još i kratke, koje služe za uklanjanje velikih količina grubih čestica što se talože u blizini središta dna. Na nosače zagona tih aparata zavješeno je i korito za hranjenje i položen pristupni most. Obično su ti aparati opskrbljeni i podizačem krila grabulja. (Podizanje je krila potrebno kad se aparat preopteretiti donjim tokom.) Ti uređaji mogu biti ručni ili vođeni automatski. Osim toga, ti su aparati obično opskrbljeni i uređajima za kontrolu torzijskog opterećenja vratila i za osiguranje od loma koji bi ono moglo uzrokovati.



Sl. 10. Princip konstrukcije cilindričnog dekantatora s ravnim dnom i zavješanjem mehanizma na nosaču. 1 stijenka aparata, 2 preljevni kanal, 3 nosač mehanizma, 4 zagonaski motor, 5 vratilo, 6 zagonaski zupčanik vratila, 7 nosač grabulja, 8 lopatice grabulja, 9 pomoćne grabulje, 10 podizač grabulja, 11 indikator torzije s alarmom za preopterećenje i isključenje zagona, 12 ispusni konus, 13 strugač konusa, 14 korito za hranjenje, 15 komora za hranjenje

Pri luženju ti se aparati kontinualno hrane suspenzijom. Donji se tok stalno odvodi kroz ispusni konus. Strugač montiran na vratilo ispod krila grabulja olakšava to ispuštanje. Gornji se tok prelijeva u kružni kanal na rubu aparata.

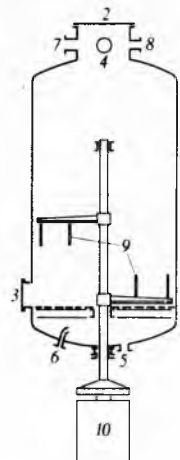
Za protustrujno kontinualno luženje dekantatori se sprežu u baterije na različite načine, obično kao u proizvodnji fosforne kiseline (v. Fosfor, TE 5, str. 514).

Veliki je nedostatak tih postrojenja u tome što zauzimaju vrlo velike površine. Zbog toga se namjesto baterija dekantatora često upotrebljavaju tzv. višekomorni dekantatori. To su cilindrični aparati s nekoliko koničnih podova jednih pod drugima. Nad svakim od tih podova rotiraju grabulje. Sve su one montirane na jednom vratilu. Ti aparati obično služe za istosmjerno luženje, ali postoje i specijalni njihovi tipovi opskrbljeni uređajima za protustrujno gibanje donjeg i gornjeg toka.

**Ekstrakcijski kotlovi** uspravljene su, zatvorene cilindrične posude s ispušćenim podnicama i mješalom sa zagonom odozdo. Ranije su se mnogo upotrebljavali za ekstrakciju iz permeabilnih sirovina uz miješanje. Mogu se upotrijebiti i za perkolacijsku ekstrakciju, ako im se ugradi dvostruki pod od sita (sl. 11).

Ranije su se perkolacijski ekstrakcijski kotlovi mnogo upotrebljavali za ekstrakciju biljnih ulja, najviše iz uljnih pogača.

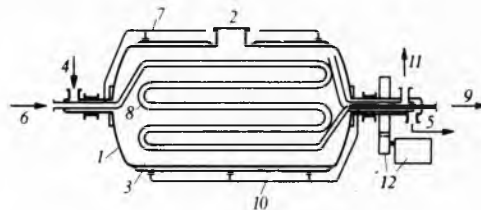
Danas se više ne grade, ali ih ima još mnogo u pogonu u starijim tvornicama. Radni se ciklus tih aparata sastoji od šaržiranja, perkolacije uz odvođenje miscela ispod sita do zadovoljavajućeg iscrpljenja ulja, otparivanja otapala iz donjeg toka destilacijom vodenom parom, te ispuštanja sačme pomoću mješala koje se tek tada stavlja u pogon.



Sl. 11. Princip konstrukcije perkolacijskog ekstrakcijskog kotla. 1 stijenka aparata, 2 otvor za šaržiranje, 3 ispusni ostatak, 4 dovod gornjeg toka, 5 ispusni gornjeg toka, 6 dovod pare, 7 odvod supara, 8 priključak za odzračivanje, 9 mješala, 10 zagonaski sklop

**Rotacijski ekstraktori** (sl. 12) položene su, zatvorene, cilindrične posude s ispušćenim podnicama, s parnim plaštem i spiralnim cijevnim grijalom za indirektno grijanje, ponekad i uređajima za direktno ubrizgavanje pare. Okretljivo su uležištene na šupljim osovinama, kroz koje se uvode i izvode svi fluidi. Ranije su se mnogo upotrebljavali za dobivanje različitih ekstrakata biljnog porijekla miješanjem sirovina s otapalom.

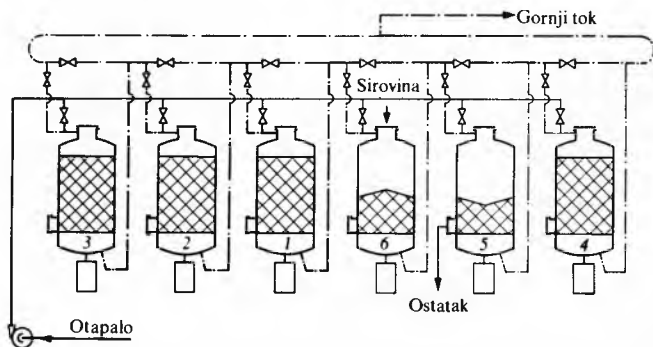
Radni se ciklus tih ekstraktora sastoji od nekoliko faza. Prva obuhvaća šaržiranje sirovinom i zatvaranje otvora za hranjenje, druga hranjenje otapalom (ponekad uz grijanje), miješanje rotiranjem, pri čemu spiralno cijevno grijalo služi i kao mješalo, te (po obustavi rotiranja) sedimentacije i ispuštanja gornjeg toka. Ta se faza ponavlja dok se ne postigne zadovoljavajući iscrpak. Zadnja se faza sastoji od isparivanja otapala iz donjeg toka grijanjem i, nakon toga, ispuštanja ostatka (kroz otvor za hranjenje, rotiranjem).



Sl. 12. Princip konstrukcije rotacijskog ekstraktora. 1 stijenka aparata, 2 otvor za šaržiranje i ispusni ostatak, 3 parni plašt, 4 dovod otapala, 5 ispusni gornjeg toka, 6 glavni dovod pare, 7 dovod pare u parni plašt, 8 spiralno cijevno grijalo, 9 glavni odvod kondenzata, 10 odvod kondenzata iz parnog plašta, 11 ispusni supara, 12 zagonaski sklop

**Difuzijske baterije** nastaju povezivanjem većeg ili manjeg broja perkolacijskih ekstrakcijskih kotlova razvodnim cjevovodom za hranjenje postrojenja otapalom, koji omogućuje uvođenje u jedan od tih kotlova, po želji, te kružnim cjevovodom za gornji tok, koji omogućuje stupnjevitu protustrujnu ekstrakciju u jednom dijelu postrojenja i isključenje kotlova u kojima se obavljaju šaržne operacije (otparivanje otapala iz iscrpljenog donjeg toka, ispuštanje ostatka, šaržiranje sirovinom) iz struje gornjeg toka. Upravljanje je strujama fluida u tim baterijama ručno (običnim protočnim ventilima).

Time se omogućuje ekstrakcija uz praktički kontinualan gornji tok. Za to je potrebna baterija od najmanje triju kotlova, tako da je jedan, u kojem se obavljaju navedene šaržne operacije, uvijek izvan tog toka. Dakako, povoljnije su baterije s više kotlova, npr. šest (sl. 13), jer je tada moguće istodobno otparivati otapalo iz iscrpljenog donjeg toka, ispuštati ostatak



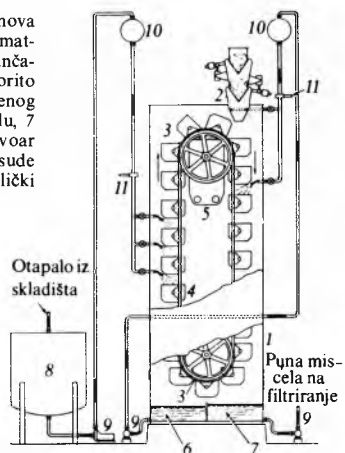
Sl. 13. Principijelna shema ekstrakcije difuzijskom baterijom od šest ekstrakcijskih kotlova. 1 kotao u kojem je tek započela ekstrakcija, 2 kotao u kojem je napola obavljena ekstrakcija, 3 kotao u kojem se dovršava ekstrakcija, 4 kotao u kojem se isparuje otapalo iz ostatka, 5 kotao iz kojeg se ispušta ostatak, 6 kotao koji se šaržira sirovinom

i šaržirati sirovinom u trima kotlovima isključenim iz kruga gornjeg toka. Time se i radni takt šaržnih operacija donekle približava kontinualnom procesu. Zbog bliskosti kontinualnom procesu ekstrakcija difuzijskim baterijama ponekad se naziva pseudokontinualnom.

**Kontinualni perkolacijski ekstraktori** obuhvaćaju mnogo tipova konstrukcijom različitih aparata. Najvažniji od tih tipova jesu aparati s košarama, s beskrajinim trakama, s okvirima i s rotorima (karuselni).

**Ekstraktori s košarama** najstariji su kontinualni perkolacijski ekstraktori. Prvi ekstraktor te vrste, uspravljene konstrukcije slične elevatoru (sl. 14), patentirao je H. Bollmann u Njemačkoj već potkraj 1919. Glavni su nedostaci konstrukcije tog ekstraktora u tome što dopušta provedbu protustrujnog procesa samo u ulaznom dijelu puta donjeg toka kroz aparat (na silaznom je dijelu puta donjeg toka u tom aparatu ekstrakcija istosmjerna), zbog čega je razmjeno glomazna prema kapacitetu preradbe, te nepovoljni vertikalni transport. Usprkos nedostacima, upotreba je tih aparata bila vrlo rasprostranjena u industriji ulja sve do kraja četrdesetih godina, kad su se počeli upotrebljavati sve djelotvorniji, novi tipovi kontinualnih ekstraktora. Danas su uspravljani ekstraktori s košarama praktički sasvim isključeni iz upotrebe.

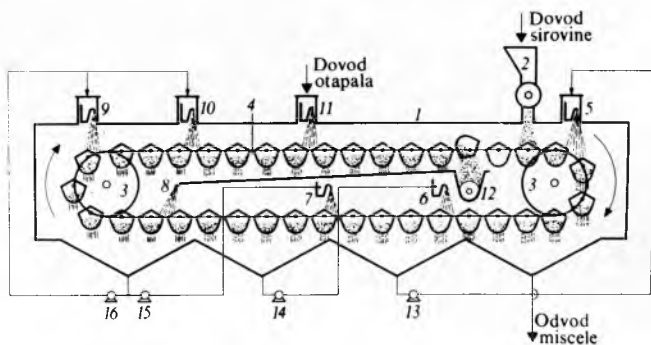
Sl. 14. Princip konstrukcije Bollmannova ekstraktora. 1 kućište aparata, 2 automatski uređaj za hranjenje sirovinom, 3 lančani, 4 posude s dnom od sita, 5 korito s dvama pužnicima za odvod iscrpljenog donjeg toka, 6 komora za polumiscelu, 7 komora za punu miscelu, 8 radni rezervoar za otapalo, 9 crpke, 10 tamponske posude za otapalo i polumiscelu, 11 hidraulički ventili



Naprotiv, vrlo se mnogo upotrebljavaju položeni ekstraktori, uglavnom u industriji biljnih ulja. Konstrukcije su im vrlo različite, ali principi su im rada (sl. 15) manje-više slični. U prikazanom su primjeru košare s dnom od sita prekretljivo zavješene na beskrajin lancima navučenim na lančanike smještene na suprotnim krajevima kućišta. Zagonski je sklop tog transportera izvan kućišta aparata. Transporter se giblje tako da košare dolaze pod ispušt uređaja za hranjenje sirovinom s udaljenijeg kraja kućišta.

Odmah nakon što se napune sirovinom, počinje prva perkolacija, i to jakom miscelom (pod tim se u proizvodnji raz-

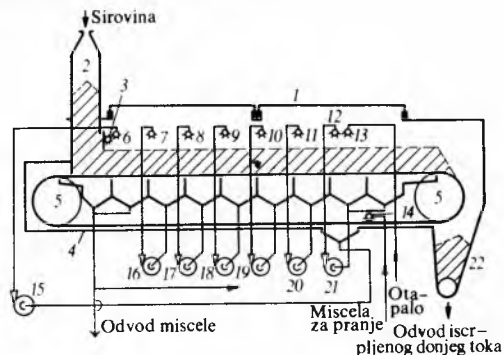
mijeva otopina ulja). Na daljem se putu kroz aparat sirovina još sedam puta perkolira miscelom, i to sve slabijom, te na kraju još jednom otapalom. Između svakih dviju susjednih zona perkolacije u tim je ekstraktorima po jedna zona ocjeđivanja donjeg toka. Miscela se iz pojedinih zona ocjeđivanja prihvaćaju u posebne bazene na dnu kućišta ekstraktora, ili se spajaju, već prema koncentraciji. Iz tih se bazena miscela transportiraju u pojedine uređaje za perkolaciju crpkama. Miscela je iz prve zone ocjeđivanja maksimalne koncentracije, pa se odvodi na destilaciju. U blizini mjesta na kojem košare dospijevaju pod ispušt uređaja za hranjenje sirovinom nalazi se uređaj za prekretanje, pa se iscrpljeni donji tok istresa. Ispod mjesta istresanja nalazi se korito s pužnikom koji transportira iscrpljeni donji tok na destilaciju za odvajanje otapala od sačme.



Sl. 15. Princip konstrukcije kontinualnog perkolacijskog ekstraktora s košarama tvrtke CMB (Italija). 1 kućište, 2 uređaj za kontinualno hranjenje sirovinom, 3 lančani, 4 lanac s košarama, 5-10 razdjelivači za perkolaciju miscelama, 11 razdjeljivač za perkolaciju otapalom, 12 korito s pužnikom za odvod iscrpljenoga donjeg toka, 13-16 crpke za perkolaciju miscelama

Položena je konstrukcija perkolacijskih ekstraktora općenito mnogo povoljnija, pa se općenito primjenjuje u svim tipovima aparata te vrste. Usprkos tome što ta konstrukcija, za razliku od uspravljene konstrukcije Bollmannova ekstraktora, ne dopušta kontinualan, već samo stupnjevit kontakt donjeg i gornjeg toka, njome se postizava temeljitija provedba protustrujnog procesa. To omogućuje ostvarivanje mnogo povoljnijih tehnoloških performansi, među ostalim i to da rad cijelog aparata ostaje kontinualan. Osim toga, mehanička su naprezanja tih ekstraktora mnogo manja.

**Ekstraktori s beskrajinim trakama** (sl. 16) konstruirani su na vrlo sličnom principu. Namjesto košara imaju beskrajinu traku od međusobno zglobovno spojenih pločastih elemenata sa sitima, navučenu na lančanike s kojima čini transporter. (Zagon je također izvan ekstraktora.) Gornji se krak te trake giblje iznad stijenki koje omogućuju formiranje donjeg toka jednolične visine. Visina se tog sloja regulira na ulazu u ekstraktor posebnim uređajem, već prema vrsti sirovine. Na putu od ulaska sirovine do ispusta donji se tok perkolira miscelama sve manjih koncentracija, i na kraju otapalom na sličan način kao i u položnim ekstraktorima s košarama.

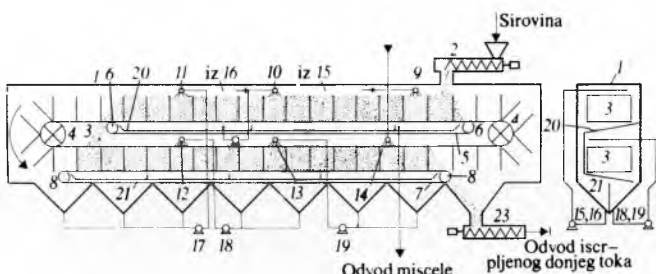


Sl. 16. Principi konstrukcije kontinualnog perkolacijskog ekstraktora s beskrajinom trakom tvrtke De Smet (Belgija). 1 kućište, 2 toranj za hranjenje sirovinom, 3 uređaj za regulaciju visine sloja donjeg toka, 4 beskrajinna traka, 5 lančani, 6-12 uređaji za perkolaciju miscelama, 13 uređaj za perkolaciju otapalom, 14 uređaj za ispiranje trake, 15 crpka za povrat mulja, 16-21 crpke za perkolaciju miscelama, 22 korito s pužnikom za odvod iscrpljenoga donjeg toka

Ipak su u ekstraktorima s beskrajnim trakama zone ocjeđivanja i zone perkolacije donjeg toka miscelama manje razdvojene. To i neprekinutost sloja donjeg toka čine proces u ekstraktorima s beskrajnim trakama bližim kontinualnom kontaktu faza. Jedina je prava zona ocjeđivanja u tim ekstraktorima nakon perkolacije otapalom, prije istresanja donjeg toka u odvodno korito.

Na početku donjeg dijela puta kroz ekstraktor traka se čisti polijevanjem filtriranom miscelom u smjeru suprotnom smjeru gibanja gornjeg toka kroz sita, da se njihova propusna moć održi nepromijenjenom. Time dobiveni mulj vraća se na sloj donjeg toka u blizini mjesta hranjenja sirovinom.

Ekstraktori s okvirima (sl. 17) zapravo su dotjeranije konstrukcije ekstraktora s trakama. Glavni su im dijelovi jedna beskrajna traka s visokim okvirima i dvije beskrajne trake od pločastih sita, od kojih gornja služi za dno okvira na gornjem, a donja za dno okvira na donjem dijelu njihova puta kroz aparat. Ta konstrukcija omogućuje da se u tim aparatima, za razliku od ekstraktora s beskrajnim trakama od sita, donji tok transportira i na gornjem i na donjem dijelu kružnog gibanja kroz kućište, tj. da za jednake kapacitete budu upola kraći.

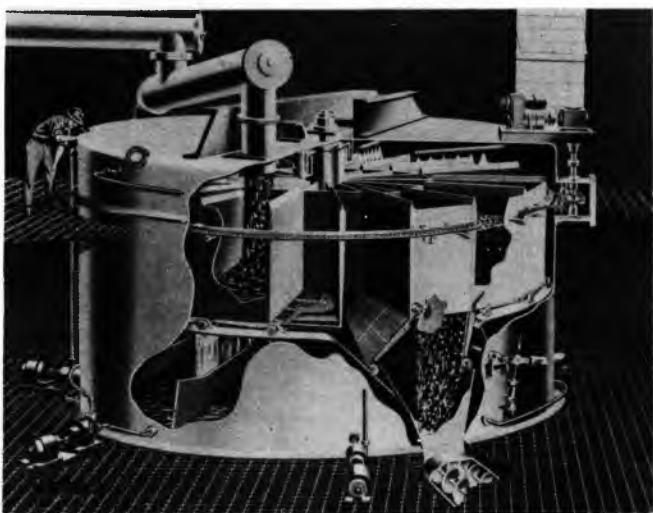


Sl. 17. Princip konstrukcije kontinualnoga perkolacijskog ekstraktora s okvirima tvrtke Lurgi (SR Njemačka). 1 kućište, 2 uređaj za hranjenje sirovinom, 3 beskrajna traka s okvirima, 4 lančani, 5 gornja beskrajna traka od sita, 6 lančani, 7 donja beskrajna traka sa sitima, 8 lančani, 9...13 uređaji za perkolaciju miscelama, 14 uređaj za perkolaciju otapalom, 15...19 crpke, 20 i 21 razvodna korita za miscela, 23 uređaj za odvođenje iscrpljenoga donjeg toka

U prikazanom je primjeru i tok miscela dotjeraniji nego u već opisanim tipovima ekstraktora. To je postignuto uzdužnom pregradom bazena za prihvata i koritima za razvođenje miscela.

Na taj su način u ekstraktorima s okvirima kombinirane prednosti ekstraktora s košarama i ekstraktora s beskrajnim trakama. Međutim, njihov je veliki nedostatak u tome što imaju mnogo pokretnih dijelova dosta izloženih trošenju i naprezanjima, a teško pristupačnih popravcima.

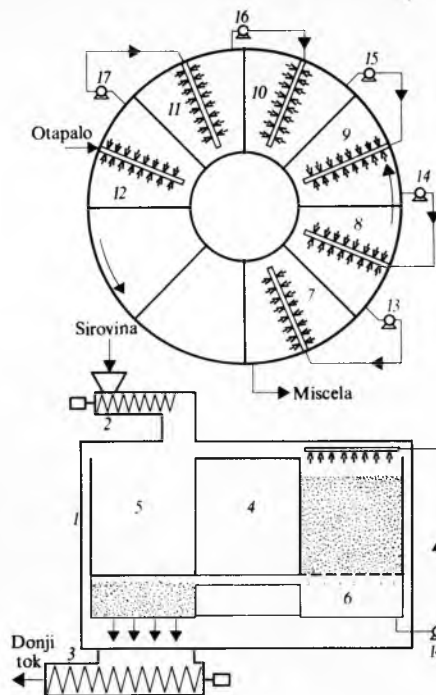
Karuselni ekstraktori odlikuju se, naprotiv, razmjerno malobrojnim pokretnim dijelovima. (U nekima je čak mehanički zagon sasvim zamijenjen hidrauličkim.) Najuspješnija konstrukcija tih, a izgleda i općenito, ekstraktora za preradbu struk-



Sl. 18. Rotocel-ekstraktor tvrtke Blaw-Knox (SAD)

turiranih permeabilnih sirovina jest tzv. Rotocel-ekstraktor (sl. 18, sl. 19).

U cilindričnom kućištu tog ekstraktora nalazi se rotor s komorama za donji tok. Dna su tih komora od pločastih sita. Jednim su rubom zglobno spojena s donjim rubovima radijalno položenih stijenki. Na donje rubove suprotnih radijalnih stijenki priljubljene su oslanjanjem na kružnu vodiličnu traku posredovanjem kotača učvršćenih na kraju vanjskih rubova. Zagonski sklop smješten na pokrovu kućišta vrlo polako okreće rotor.



Sl. 19. Princip rada Rotocel-ekstraktora tvrtke Blaw-Knox (SAD). 1 kućište, 2 uređaj za hranjenje sirovinom, 3 uređaj za odvođenje donjeg toka, 4 rotor, 5 komora (čelija) za donji tok, 6 bazen za miscela, 7...12 uređaji za perkolaciju, 13...17 crpke za perkolaciju

Hranjenje je Rotocel-ekstraktora i vođenje protustruja gornjeg i donjeg toka u njemu načelno jednako kao i u ostalim perkolacijskim ekstraktorima. Međutim, volumen mu je mnogo bolje iskorišćen za proces, a razmjerno vrlo velika masa donjeg toka u komorama približava taj proces i imerzijskim uvjetima, pa se u tom aparatu ostvaruju neke prednosti kombiniranih postupaka ekstrakcije.

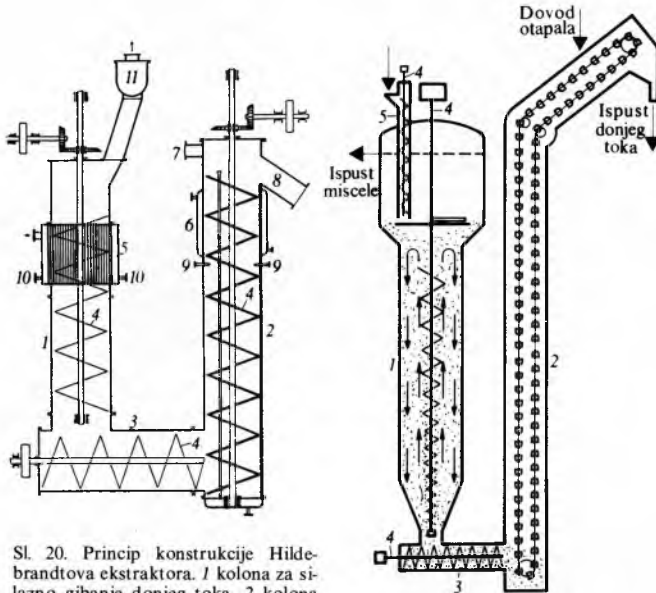
Za istresanje je iscrpljenog donjeg toka iz komora tog ekstraktora vodilična traka prekinuta iznad korita pužnika za odvođenje, tako da se dna komora na tom mjestu počinju spuštati. Poslije istresanja donjeg toka dna se komora prije punjenja vraćaju u radni položaj kotrljanjem kotača po kosini kojom počinje vodilična traka iza ispusnog korita. Gibanje je kotača usmjereno uz kosinu polugom sa svinutim krajem, učvršćenom na vanjskom rubu dna i na unutrašnjoj stijenci kućišta okretljivo uležištenim cilindrom, po kojemu ona kliže.

Kontinualni imerzijski ekstraktori počeli su se konstruirati nešto kasnije nego kontinualni perkolacijski. Među ostalim, u Njemačkoj je 1931. godine K. Hildebrandt patentirao ekstraktor te vrste, koji se pokazao dovoljno uspješnim da zadovolji tadašnje zahtjeve industrije da ga ona općenito prihvati. Glavni su dijelovi tog aparata (sl. 20) bile dvije uspravljene kolone s pužnicama, koji su služili za reguliranje gibanja donjeg kroz gornji tok, pri dnu spojene položenim, zatvorenim pužnim transporterom za donji tok.

Jedna se od kolona hranila sirovinom s vrha, a druga otapalom u blizini vrha. Miscela se odvodila iz prve kolone u blizini vrha, uz grubo filtriranje kroz sekciju sita od šipki, kojima su se razmaci proširivali prema vanjskoj strani, da bi se spriječilo zapinjanje čestica donjeg toka u procjepima. Da bi se omogućilo protustrujno gibanje donjeg i gornjeg toka i ocjeđi-



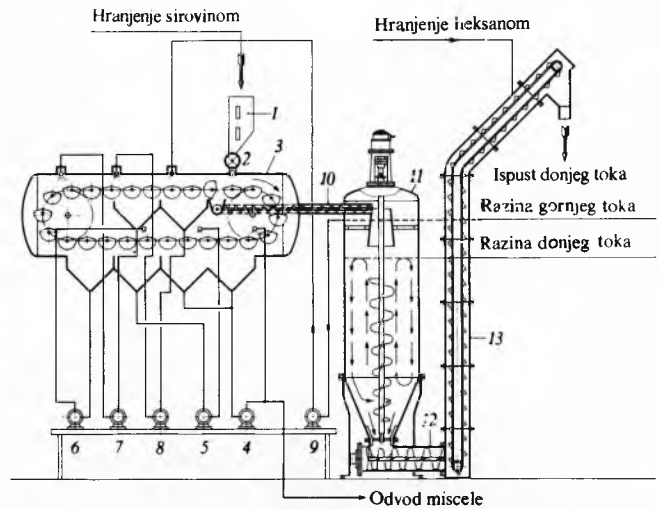
vanje donjeg toka prije ispuštanja, spirale su pužnika bile perforirane. Njihov je promjer bio upravo toliki da im rubovi, napravljeni od mekog, nemetalnog materijala, ne dodiruju stijenke. Gibanjem rubova spirala neposredno u blizini njegove unutrašnje površine također je održavalo sito čistim. Kolona je za uzlazno gibanje donjeg toka bila opskrbljena i parnim plaštem između priključaka dovoda otapala i ispusta donjeg toka. To je grijalo služilo za otparivanje dijela otapala iz donjeg toka već prije izvođenja iz ekstraktora.



Sl. 20. Princip konstrukcije Hildebrandtova ekstraktora. 1 kolona za silazno gibanje donjeg toka, 2 kolona za uzlazno gibanje donjeg toka, 3 spojni transporter kolona, 4 pužnici s perforiranim spiralama, 5 sito za grubu filtraciju miscele, 6 parni plašt, 7 odvod supare, 8 ispušni tok, 9 dovodi otapala, 10 ispusti miscele, 11 transporter za hranjenje sirovinom

Sl. 21. Princip konstrukcije imerzijskog ekstraktora tvrtke CMB (Italija). 1 kolona za silazni put, 2 transporter za uzlazni put donjeg toka, 3 dozator ispusta donjeg toka, 4 zagonski uređaji, 5 uređaj za hranjenje sirovinom

Uz male koncentracije ulja u misceli nedostatak je Hildebrandtova ekstraktora bilo i pretjerano drobljenje čestica donjeg toka djelovanjem pužnika. To je uzrokovalo manje ili veće smetnje u pogonu postrojenja, već prema vrsti sirovine koja se prerađivala. Kasnijim su se konstrukcijama kontinualnih imerzijskih ekstraktora postepeno uklanjali nedostaci prvih njihovih tipova. Međutim, obično se i suvremene konstrukcije tih ekstraktora (sl. 21) također baziraju na trima osnovnim dijelovima kojima je temeljna funkcija jednaka kao u Hildebrandtovu ekstraktoru. Glavni je dio takvih ekstraktora kolona za silazni put donjeg toka. U prikazanom primjeru ona ima konično dno i glavu proširenu da se prije ispuštanja uspori struja miscele i time djelomično izbistri. Da se ne zamuti sirovinom, zatvoreni pužnik za hranjenje seže do dna glave, gdje se nalazi ploča s koje jednokrilno mješalo, učvršćeno na vratilu zagonskog sklopa, raspodjeljuje donji tok po unutrašnjem obodu kolone. Spirala je pužnika, također učvršćena na vratilu, konična. Sužava



Sl. 22. Princip konstrukcije postrojenja za postupak Percolim tvrtke CMB (Italija). 1 prihvatna posuda, 2 pužnik za hranjenje sirovinom, 3 perkolacijski ekstraktor, 4-9 crpke za perkolaciju (od prve do šeste), 10 pužnik za hranjenje donjim tokom imerzijskog ekstraktora, 11 kolona imerzijskog ekstraktora, 12 dozator za hranjenje transportera donjeg toka imerzijskog ekstraktora, 13 transporter donjeg toka imerzijskog ekstraktora

se prema dnu. Taj pužnik produžava put donjeg toka kroz kolonu vraćajući ga sa sredine koničnog dna nagore, da se opet vrati sa silaznom strujom uz stijenku. Iz koničnog dna kolone donji tok dopijeva u pužni dozator za hranjenje transportera za uzlazni put donjeg kroz gornji tok. Taj je transporter dobro zabrtvljeni elevator s košarama od perforiranog lima koje grabe donji tok i vode ga kroz protustruju gornjeg toka, a prije ispuštanja istresanjem omogućuju da se ocijedi.

**Kontinualna perkolacijsko-imerzijska postrojenja za ekstrakciju** manje-više su jednostavne sprege perkolacijskih i imerzijskih ekstraktora. Tako je postrojenje za perkolacijsko-imerzijski postupak ekstrakcije Percolim (sl. 22) sprega položenog perkolacijskog ekstraktora s košarama, vrlo sličnog ekstraktoru na sl. 15, i imerzijskog ekstraktora vrlo sličnog ekstraktoru na sl. 21. Proces se u perkolacijskom dijelu tog postrojenja razlikuje od čistog perkolacijskog procesa samo time što se aparat namjesto otapalom hrani miscelom iz imerzijskog dijela postrojenja i što se u njemu ne obavlja dio procesa u kojem prevladava ekstrakcija pod utjecajem difuzije, pa donji tok koji se izvodi sadrži još dosta ulja. Taj se dio procesa izvodi u imerzijskom dijelu postrojenja, gdje za to vladaju povoljniji uvjeti.

LIT.: R. E. Sherwood, R. L. Pigford, Absorption and extraction. McGraw-Hill Book Co., New York 1952. — W. L. Badger, J. T. Banchero, Introduction to chemical engineering. McGraw-Hill Book Co., New York 1955. — R. E. Treyball, Mass-transfer operations. McGraw-Hill Book Co., New York 1955. — H. P. Kaufmann, Neuzzeitliche Technologie der Fette und Fettprodukte. Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung, Münster 1959. — C. J. Major, Leaching, i J. C. Smith, Leaching equipment, u djelu J. H. Perry, Chemical engineers handbook. New York-San Francisco-Toronto-London-Sidney 1963. — R. P. Hutchins, Solvent extraction equipment, u djelu The encyclopedia of chemical process equipment. Reinhold Publishing Co., New York 1964.

Ž. Viličić